

HIBAH PENELITIAN 2017



Yayasan Bina Patria Nusantara Malang

Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Jl. Telaga Warna, Tlogomas, Malang 65144 - Indonesia, Telp. (0341) 565500, Fax. (0341) 565522

E-mail : lppm@unitri.ac.id, lppm.unitri@gmail.com

**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN DALAM RANGKA
PELAKSANAAN PROGRAM PENELITIAN**

Tahun Anggaran 2017

Nomor : 165/TB-LPPM/TU-220/V/2017

Pada hari ini **Jum'at** tanggal **Lima** bulan **Mei** tahun **Dua Ribu Tujuh Belas**, kami yang bertanda tangan di bawah ini :

- 1. Dr. Ir. Eko Marhaeniyanto, MP** : Ketua LPPM Universitas Tribhuwana Tungadewi dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Rektor Universitas Tribhuwana Tungadewi yang berkedudukan di Jl. Telaga Warna, Tlogomas, Malang untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2. Dr. Ir. Widowati, MP** : Dosen Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungadewi, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2017 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam suatu Kontrak **Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi** Tahun Anggaran 2017 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1

Ruang Lingkup Kontrak

PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan **Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi** Tahun Anggaran 2017 dengan judul
"Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering".

Pasal 2

Dana Penelitian

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar **Rp 122500000 (Seratus dua puluh dua juta lima ratus ribu rupiah)** sudah termasuk pajak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2017, tanggal 07 Desember 2016.

Pasal 3
Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
- a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total dana penelitian yaitu $70\% \times \text{Rp. } 122500000 = \text{Rp. } 85750000$ (Delapan puluh lima juta tujuh ratus lima puluh ribu rupiah), yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PARA PIHAK** membuat dan melengkapi rancangan pelaksanaan penelitian yang memuat judul penelitian, pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, data yang akan diperoleh, anggaran yang akan digunakan, dan tujuan penelitian berupa luaran yang akan dicapai.
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% dari total dana penelitian yaitu $30\% \times \text{Rp. } 122500000 = \text{Rp. } 36750000$ (Tiga puluh enam juta tujuh ratus lima puluh ribu rupiah), dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah dokumen sebagai berikut :
 - a. Buku catatan harian dan laporan penggunaan anggaran 70%
 - b. Laporan kemajuan pelaksanaan pekerjaan ke laman (Website) **SIMLITABMAS** selambat-lambatnya tanggal **31 Juli 2017**.
 - c. Khusus untuk dana pembayaran 70% yang baru cair setelah tanggal 17 Juli 2017, maka unggah dokumen sebagaimana dimaksud pada pasal 3 ayat (1) huruf b ke laman SIMLITABMAS selambat-lambatnya dua minggu setelah dana cair.
 - d. Biaya tambahan dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** bersamaan dengan pembayaran Tahap Kedua dengan melampirkan Daftar luaran penelitian yang sudah divalidasi oleh **PIHAK PERTAMA**
- (2). Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:

Nama	: Dr. Ir. Widowati, MP
NomorRekening	: 0283054316
Nama Bank	: BNI

- (3). **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

Pasal 4
Jangka Waktu

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sampai selesai 100%, adalah terhitung sejak **Tanggal 13 April 2017** dan berakhir pada **Tanggal 31 Oktober 2017**

Pasal 5
Target Luaran

- (1). **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa Publikasi artikel ke jurnal internasional
- (2). **PIHAK KEDUA** diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa Pemakalah seminar nasional
- (3). **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 6
Hak dan Kewajiban Para Pihak

- (1). Hak dan Kewajiban **PIHAK PERTAMA**:
- a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7;
 - b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- (2). Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA**:
- a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi dengan judul Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering dan catatan harian pelaksanaan penelitian;
 - c. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7.

Pasal 7
Laporan Pelaksanaan Penelitian

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA** yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Kemajuan dan Catatan harian penelitian yang telah dilaksanakan ke SIMLITABMAS paling lambat **31 Juli 2017**.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan *Hardcopy* Laporan Kemajuan dan Rekapitulasi Penggunaan Anggaran 70% kepada **PIHAK PERTAMA**, paling lambat **8 September 2017**.
- (4) **PIHAK KEDUA** harus menyampaikan Surat Pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan padalaman (*website*) SIMLITABMAS.
- a. Catatan harian dan laporan komprehensif pelaksanaan Penelitian, pada tanggal **30 Oktober 2017**
 - b. Laporan akhir, capaian akhir, Poster, artikel ilmiah dan profile, pada tanggal **31 Oktober 2017** (bagi penelitian tahun terakhir).
- (5). Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
- (a). Bentuk/ukuran kertas A4;
 - (b). Warna sampul muka (cover) disesuaikan dengan ketentuan buku panduan edisi terbaru;
 - (c). Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:
Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 120/SP2H/LT/DRPM/IV/2017 tanggal 3 April 2017

Softcopy laporan hasil Program Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (5) wajib diunggah ke laman (*website*) SIMLITABMAS sedangkan *hardcopy* wajib disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 8 **Monitoring dan Evaluasi**

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2017 ini sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Pasal 9 **Penilaian Luaran**

1. Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/*Reviewer* Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima oleh peneliti harus disetorkan kembali ke kas negara.

Pasal 10 **Perubahan Susunan Tim Pelaksana dan Substansi Pelaksanaan**

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan penelitian ini dapat dibenarkan apa bila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Pasal 11 **Penggantian Ketua Pelaksana**

- (1). Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana tidak dapat melaksanakan Penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2). Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud pada ayat(1), maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penelitian kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3). Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 12 **Sanksi**

- (1). Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian ini telah berakhir, namun **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya, terlambat mengirim laporan Kemajuan, dan/atau terlambat mengunggah laporan akhir di laman (*website*) SIMLITABMAS, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi denda administratif sebesar 1‰ (satu permil) untuk setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen), dihitung dari tanggal jatuh tempo dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (2). Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat mencapai target luaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5, maka kekurangan capaian target luaran tersebut akan dicatat sebagai hutang **PIHAK KEDUA** kepada **PIHAK PERTAMA** yang apabila tidak dapat dilunasi oleh **PIHAK KEDUA**, akan berdampak pada kesempatan **PIHAK KEDUA** untuk mendapatkan pendanaan penelitian atau hibah lainnya yang dikelola oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 13

Pembatalan Perjanjian

- (1). Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh **PIHAK KEDUA**, maka perjanjian penelitian ini dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya akan disetor ke Kas Negara.
- (2). Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 14

Pajak-Pajak

- (1). Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan oleh **PIHAK KEDUA** ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku, berupa :
 1. Pembelian barang dan/atau jasa yang dikenakan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 10% (sepuluh persen) dan Pajak Penghasilan (PPh) 22 sebesar 1,5% (satu koma lima persen);
 2. Belanja honorarium yang dikenakan PPh 21 dengan ketentuan :
 - (a). 5% (lima persen) bagi yang memiliki NPWP untuk Golongan III, serta 6% (enam persen) bagi yang tidak memiliki NPWP, dan
 - (b). Untuk Golongan IV sebesar 15% (lima belas persen);
 3. Pajak-pajak lainnya sesuai ketentuan yang berlaku.
- (2). **PIHAK KEDUA** wajib menyimpan seluruh bukti-bukti pembayaran pajak yang telah disetorkan.

Pasal 15

Peralatan dan/alat Hasil Penelitian

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Tribhuwana Tungadewi sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Pasal 16

Penyelesaian Sengketa

Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

Pasal 17

Lain-lain

- (1). **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2). Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.



PIHAK KEDUA

Dr. Ir. Widowati, MP
0024086506



Bidang Unggulan : Ketahanan dan Keamanan Pangan
Kode/ Nama Rumpun Ilmu : 151/ Ilmu Tanah

LAPORAN AKHIR TAHUN

PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



JUDUL PENELITIAN

KARAKTERISASI BIOCHAR-PUPUK ORGANIK

PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING

Tahun ke-1 dari rencana 4 tahun

Ketua Tim Peneliti:

Dr. Ir. Widowati, MP (NIDN 0024086506)

Anggota Tim:

Sutoyo, SP., MP	(NIDN 0002076012)
Ir. Taufik Iskandar, MAP	(NIDN 0731105801)
Hidayati Karamina, SP., SH., MP	(NIDN 0704019101)

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 120/SP2H/LT/DRPM/IV/2017 tanggal 3 April 2017

UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI

MALANG

OKTOBER 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Judul	: Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering
Peneliti/Pelaksana	
Nama Lengkap	: Dr. Ir WIDOWATI, M.P
Perguruan Tinggi	: Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
NIDN	: 0024086506
Jabatan Fungsional	: Lektor Kepala
Program Studi	: Agroteknologi
Nomor HP	: 0822 4571 1408
Alamat surel (e-mail)	: widwidowati@gmail.com
Anggota (1)	
Nama Lengkap	: SUTOYO S.P, M.P
NIDN	: 0002076012
Perguruan Tinggi	: Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
Anggota (2)	
Nama Lengkap	: Ir TAUFIK ISKANDAR MAP
NIDN	: 0731105801
Perguruan Tinggi	: Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
Anggota (3)	
Nama Lengkap	: HIDAYATI KARAMINA S.H., S.P, M.P
NIDN	: 0704019101
Perguruan Tinggi	: Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
Institusi Mitra (jika ada)	
Nama Institusi Mitra	: -
Alamat	: -
Penanggung Jawab	: -
Tahun Pelaksanaan	: Tahun ke 1 dari rencana 4 tahun
Biaya Tahun Berjalan	: Rp 122,500,000
Biaya Keseluruhan	: Rp 648,510,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian

(Dr. Ir. Amir Hamzah, MP)
NIP/NIK 196705272005011001

Kota Malang, 25 - 10 - 2017
Ketua,

(Dr. Ir WIDOWATI, M.P)
NIP/NIK 196508241993022001

Menyetujui,
Ketua LPPM

(Dr. Ir. Eko Marhanianto, MP)
NIP/NIK 19681003200501001

PRAKATA

Puji syukur dan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, rakmat, dan hikmatNya sehingga laporan kemajuan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) tahun pertama (2017) dapat diselesaikan. Penelitian yang berjudul “Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering” merupakan penelitian yang mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT di bidang unggulan Ketahanan Pangan dan salah satu topik unggulannya adalah *Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan*. Penelitian ini menawarkan sebuah pengembangan teknologi pengelolaan tanah dengan menggunakan biochar-pupuk organik sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas lahan kering. Biochar dan pupuk organik sebagai bahan pembenah tanah yang dapat menghemat pemakaian pupuk anorganik sehingga berdampak pada kualitas pangan, kesehatan, dan ramah lingkungan.

Pada kesempatan ini, perkenankan kami menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Kemenristek-Dikti yang telah menyediakan dana penelitian pada scheme Hibah PUPT yang direncanakan akan diselesaikan dalam waktu 4 tahun (2017-2020).

Penulis sadar sepenuhnya bahwa tidak ada yang sempurna di dunia ini, begitu pula dengan laporan kemajuan ini. Oleh karena itu masukan, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan dan sempurnanya tulisan di masa mendatang. Harapan penulis, kiranya tulisan ini bermanfaat bagi masyarakat luas dan membawa hasil yang membangun bagi pertanian lahan kering.

Malang, Oktober 2017

Peneliti,

Widowati

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan.....	i
Prakata	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel.....	v
Daftar Gambar	vi
Daftar Lampiran	vii
Ringkasan	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Urgensi Penelitian	4
1.2 Pentingnya Riset yang Mendukung Capaian Renstra Penelitian PT	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Baku Biomasa	8
2.2 Komposisi Biochar	13
2.3 Karakteristik Fisik Biochar	17
2.4 Nutrisi Biochar	23
2.5 Karakteristik Biologi Biochar	36
2.6 Impact Biochar Dalam Tanah	43
2.7 Jenis Tanah	52
2.8 Lahan kering	55

BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian	61
3.2 Manfaat Penelitian	61

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Produksi biochar	62
4.2 Inkubasi biochar dan pupuk organik di dalam tanah	62

BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Karakteristik Jenis Tanah	66
5.2 Karakteristik Biochar dan Pupuk Organik	66
5.3 Pengaruh jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik pada beberapa jenis tanah	69
5.4 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kandungan bahan organik tanah pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	77
5.5 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada tanah litosol, mediteran, dan Regosol	85

5.6 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	92
5.7 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kejenuhan Basa (KB) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	99
5.8 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kation Basa pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	105
5.9 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Nitrogen pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	111
6.0 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Phosfor pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	119
6.1 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Kalium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	125
6.2 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Calsium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	131
6.3 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Magnesium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	138

BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan.....	149
7.2 Saran.....	152

DAFTAR PUSTAKA 153

LAMPIRAN..... 158

DAFTAR TABEL

No		Halaman
Tabel 1.	Karakteristik tanah sebelum penelitian	66
Tabel 2.	Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik	68
Tabel 3.	Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah	70
Tabel 4.	Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah	72
Tabel 5.	Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah	73
Tabel 6.	Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah	74
Tabel 7.	Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah	76
Tabel 8.	Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah	77
Tabel 9.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	79
Tabel 10.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	80
Tabel 11.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	81
Tabel 12.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	82
Tabel 13.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	83
Tabel 14.	Hasil analisis nested design	86
Tabel 15.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7	87
Tabel 16.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14	88
Tabel 17.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28	89
Tabel 18.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56	90
Tabel 19.	Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98	91
Tabel 20.	Hasil analisis nested design pH tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	93
Tabel 21.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	94
Tabel 22.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	95
Tabel 23.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	96
Tabel 24.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	96

Tabel 25.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	97
Tabel 26.	Hasil analisis nested design kejenuhan basa pada inkubasi 7 – 98 hari	99
Tabel 27.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	100
Tabel 28.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	101
Tabel 29.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	101
Tabel 30.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	102
Tabel 31.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	103
Tabel 32.	Hasil analisis nested design dari kation basa pada inkubasi 7 – 98 hari	105
Tabel 33.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	106
Tabel 34.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	107
Tabel 35.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	107
Tabel 36.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	108
Tabel 37.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	109
Tabel 38.	Hasil analisis nested design kadar N tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	112
Tabel 39.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	113
Tabel 40.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	114
Tabel 41.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	115
Tabel 42.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	116
Tabel 43.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	117
Tabel 44.	Hasil analisis nested design kadar P tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	119
Tabel 45.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	120
Tabel 46.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	121
Tabel 47.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	122
Tabel 48.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	123
Tabel 49.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	124
Tabel 50.	Hasil analisis nested design	126

Tabel 51.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	127
Tabel 52.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14	128
Tabel 53.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28	128
Tabel 54.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 51	129
Tabel 55.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98	130
Tabel 56.	Hasil analisis nested design	132
Tabel 57.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7	133
Tabel 58.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14	134
Tabel 59.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28	134
Tabel 60.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56	135
Tabel 61.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98	136
Tabel 62.	Hasil analisis nested design kadar Mg pada inkubasi 7 – 98 hari	139
Tabel 63.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	140
Tabel 64.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	141
Tabel 65.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	142
Tabel 66.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	143
Tabel 67.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	143

DAFTAR GAMBAR

No		Halaman
Gambar 1	Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam)	5
Gambar 2	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah regosol	84
Gambar 3	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah litosol	84
Gambar 4	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah mediteran	85
Gambar 5.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah litosol	91
Gambar 6.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah mediteran	92
Gambar 7.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah regosol	92
Gambar 8.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah litosol	98
Gambar 9.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah mediteran	98
Gambar 10.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah regosol	99
Gambar 11.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah litosol	103
Gambar 12.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah mediteran	104
Gambar 13.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah regosol	104
Gambar 14.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah litosol	110
Gambar 15.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah mediteran	110
Gambar 16.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah regosol	111
Gambar 17.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah litosol	117

Gambar 18.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah mediteran	118
Gambar 19.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah regosol	118
Gambar 20.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah litosol	124
Gambar 21.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah mediteran	125
Gambar 22.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah regosol	125
Gambar 23.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah litosol	130
Gambar 24.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah mediteran	131
Gambar 25.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah regosol	131
Gambar 26.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah litosol	137
Gambar 27.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah mediteran	137
Gambar 28.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah regosol	138
Gambar 29.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah litosol	145
Gambar 30.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah mediteran	145
Gambar 30.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah regosol	146

DAFTAR LAMPIRAN

No		Halaman
Lampiran 1	Sertifikat pemakalah internasional	158
Lampiran 2	Bukti email tentang artikel yang telah diterima dan Pembayaran	159
Lampiran 3	Naskah artikel telah diterima di jurnal Bioseince Research	161

RINGKASAN

Lahan kering di Kabupaten Malang berpotensi dikembangkan untuk pertanian. Dalam jangka panjang penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanah di lahan kering sehingga masa tanam diperpanjang/indeks pertanaman ditingkatkan dan ketahanan pangan terwujud. Hal ini didekati dengan beberapa percobaan yang akan dilakukan dalam waktu 4 tahun. Percobaan tahun pertama lebih menekankan bagaimana pengaruh langsung dari karakteristik biochar-pupuk organik terhadap kontribusi unsur hara sebelum ada interaksi dengan tanaman maupun kemampuannya sebagai bahan pembenah pada beberapa jenis tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah baik sebagai unsur hara maupun retensi hara. Penelitian ini bertujuan untuk (1). mendapatkan karakterisasi biochar-pupuk organik dari jenis biomasa, (2). menentukan waktu inkubasi terbaik untuk meningkatkan bahan organik tanah yang akan mempengaruhi kesuburan tanah, (3). mengkaji perubahan unsur hara dan sifat-sifat tanah dari berbagai jenis biochar-pupuk organik dan dari jenis tanah. Penelitian bermanfaat untuk manajemen tanah yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda sehingga mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapan biochar dan pupuk organik pada lahan kering.

Pada tahun I telah dilakukan percobaan dalam pot plastik di rumah kaca, di Dusun Bawang, Desa Tunggulwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian ini menggunakan 3 sampel tanah yang berasal dari 3 kecamatan di Kabupaten Malang Selatan dari agroekosistem lahan kering yang secara alami memiliki produktivitas tanah rendah. Jenis tanah yang diambil mewakili proses pembentukan dan perkembangan tanah. Jenis tanah dari Kec. Poncokusumo adalah Regosol (baru berkembang), dari Kec. Donomulyo adalah Litosol (berkembang tidak sempurna), dan dari Kec. Kalipare adalah (sedang berkembang). Pembentukan dan perkembangan tanah mempengaruhi karakteristik jenis tanah. Biochar dari 3 jenis biomasa (sekam padi, tongkol jagung, jengkok tembakau). Pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang ayam.

Hasil penelitian karakterisasi terhadap sifat kimia menunjukkan kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran). Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos dari waktu ke waktu. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol, tetapi yang dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan terbaik terbaik pada tanah regosol.

Hasil karakterisasi terhadap sifat fisik menunjukkan bahwa perbaikan sifat fisik tanah liat lebih baik menggunakan kombinasi jenis biochar dengan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang pada tanah litosol

meningkatkan porositas dan pori makro, masing-masing sebesar 14% dan 21-24%. Kombinasi biochar jengkok dengan kompos meningkatkan porositas dan pori makro pada mediteran, berturut-turut sebesar 21% dan 64% akan tetapi pori mikro menurun 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1%. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso tanah litosol sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada mediteran. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi pupuk kandang dengan biochar sekam maupun dengan biochar tongkol, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos pada litosol. Penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah lempung berpasir dapat meningkatkan pori meso sebesar 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%. Akan tetapi pori makro menurun 21% hanya dengan pupuk kandang ayam pada regosol. Hasil karakterisasi pada sifat kimia menunjukkan bahwa jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan. Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran). Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos pada waktu-waktu tertentu. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu. Inkubasi 7 hari terbaik untuk meningkatkan nilai KTK dari ketiga tanah. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam yang terbaik untuk meningkatkan KTK pada tanah regosol. Kadar K yang tertinggi pada biochar jengkok belum tentu memberikan kontribusi kalium yang terbanyak pada suatu jenis tanah pada suatu waktu. Biochar jengkok akan meningkatkan kadar kalium tanah terbesar pada litosol (7 hari), regosol (14-56 hari). Kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya. Peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya. Pada awal inkubasi, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tertinggi pada mediteran dari perlakuan pupuk kandang selama 98 hari

regosol berlangsung hingga 56 hari, sedangkan mediteran berlangsung pada 14 hingga 56 hari. Pada 14 hari inkubasi, pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah.

Kata kunci : biomasa, karakterisasi, produktivitas, keberlanjutan

BAB I

PENDAHULUAN

Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian tahun 2013, luas lahan suboptimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha. Lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%), lahan pasang surut seluas 9,3 juta ha (10,1%), lahan kering iklim kering seluas 7,8 juta ha (8,2%), lahan gambut seluas 4,7 juta ha (5,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kab. Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan dan penggunaan lahan pertanian berkurang, dan ketidakmungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada di bawah kapasitas lapang.

Pada umumnya luas wilayah di Kabupaten Malang sebagian besar adalah bertekstur sedang 248.142,51 Ha atau 74,12 % dari luas wilayah. Tanah dengan tekstur halus mempunyai luas wilayah sebesar 82.944,49 Ha atau 24,79 % sedangkan tanah dengan tekstur kasar mempunyai luas sebesar 3.650,00 Ha atau 1,09 % dari seluruh luas wilayah Kabupaten Malang. Jenis tanah yang ada di Kabupaten Malang terdiri dari jenis tanah andosol, latosol, mediteran, litosol, alluvial, regosol dan brown forest. Penyebaran jenis tanah ini tidak seluruhnya tersebar di kecamatan-kecamatan yang ada di Kabupaten Malang.

Proses pembentukan dan perkembangan tanah dipengaruhi bahan induk, topografi, iklim, organisme, dan waktu (Hanafiah, 2005). Kelima faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mengelola tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang

menyebabkan produktivitas rendah. Informasi dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim (2013), bahwa produksi jagung seluas 218 ha sebesar 936,65 ton (4.3 ton/ha) dan produktivitas 42,97 (kw/ha).

Masalah yang seringkali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai topsoil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering, diantaranya penataan lahan, pengelolaan air, pengelolaan tanaman, menggunakan bentuk-bentuk pola tanam, sistem pertanian konservasi tanah, pengelolaan bahan pembenah tanah, pengelolaan pemupukan anorganik, dan pengendalian gulma. Beberapa hasil penelitian tentang penggunaan bahan pembenah tanah untuk merehabilitasi lahan kering terdegradasi telah dilakukan, seperti zeolit (Sutono dan Agus, 1998), pupuk kandang (Abdurahman *et al.*, 2000), biomassa flemingia dan sisa tanaman (Nurida, 2006), dan biomassa tumbuhan dominan di lahan kering (Djoko, 2006). Beberapa penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung (Nurida *et al.*, 2012), pada tanah sulfat masam di Kalimantan (Masulili *et al.*, 2010), lahan kering beriklim kering (Dairiah *et al.*, 2012), tanah lempung berpasir di Lombok Utara (Sukartomo *et al.*, 2011 dan Suwardji *et al.*, 2012), dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan (Tambunan *et al.*, 2014), dan tanah yang sedang terdegradasi (Widowati *et al.*, 2014).

Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Di samping dapat memperbaiki sifat tanah, penggunaan biochar pada tanah tropika dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah dalam jangka panjang (Glaser *et al.*, 2002; Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2008), meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007), memperbaiki struktur tanah, meningkatkan

kapasitas penyimpanan air tanah dan menurunkan kekuatan tanah (Chan *et al.* (2007), memegang air pada tanah bertekstur pasir (Sutono *et al.*, 2012). Steiner *et al.* (2008) dan Widowati *et al.* (2012) melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, pemupukan NPK pada tanah typic Dystrudepts (Sudjana, 2014), meningkatkan retensi air dan kapasitas menyimpan air tanah (Santi dan Goenadi, 2012). Penggunaan biochar dapat meningkatkan retensi air dan hara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik di lahan kering beriklim kering di NTT. Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan pori aerasi dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014) menyebutkan biochar serasah jagung 20 t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t/ha dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan apalagi untuk lahan yang belum dimanfaatkan. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013), konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos dan pembakaran sisa tanaman. Gugus-gugus fungsional bahan organik mampu mengikat air karena agregasi tanah yang lebih baik dalam membentuk pori-pori. Asai *et al.*, (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan nutrisi lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga

mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Kenaikan luas permukaan memberikan adsorpsi yang lebih besar dan ruang untuk retensi air dan nutrisi (Lehmann et al., 2003).

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian variasi dalam karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar-pupuk organik pada karakteristik tanah. Campuran bahan organik yang berbeda sifat untuk mengembangkan produk yang berbeda sesuai dengan jenis tanah guna meningkatkan reaksi lebih lanjut terhadap nilai hara.

1.1. Urgensi Penelitian

Lahan kering di Kabupaten Malang sangat potensial dikembangkan untuk pertanian. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Secara geografis, Desa Purwodadi (Kecamatan Donomulyo) terletak di dataran tinggi dengan jenis Litosol. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm), tergolong tanah muda yang miskin unsur hara, bukan termasuk tanah yang subur dan tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah lainnya. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong untuk ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (tanah Mediteran) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/ tadah hujan, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak banyak tanaman yang bisa tumbuh. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Karena bahan baku dan kondisi produksi biochar dapat secara signifikan mempengaruhi kualitas biochar. Demikian pula jenis pupuk organik yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pupuk itu sendiri maupun pengaruhnya ketika diaplikasikan di dalam tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda.

Lahan kering menghadapi kendala internal di dalam tanah maupun lingkungan eksternal. Kendala internal berhubungan dengan bahan induk tanah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan tanah, yang lebih lanjut akan mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas tanaman rendah karena keterbatasan air. Sistem pengelolaan lahan dengan masukan bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk berproduksi. Dalam jangka panjang diperlukan pengelolaan tanah di wilayah lahan kering khususnya di Kabupaten Malang supaya produktivitas tanah meningkat dan mengurangi keterbatasan lahan produktif.

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Namun hingga kini dampak penggunaan pupuk organik secara berlanjut belum nampak. Karena bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis. Tidak demikian dengan bahan organik yang bersifat stabil seperti biochar. Biochar adalah teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/ biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah baik sebagai unsur hara dan retensi hara. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan.

Pemberian biochar cukup satu kali aplikasi namun dapat memberi efek susulan dalam jangka panjang sehingga dapat mewujudkan pertanian berlanjut. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP₃₆ dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Alfisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Kondisi ini dapat mengawetkan karbon dan nitrogen organik sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan dan efisiensi usahatani.

Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi tentang pengaruh jenis biomasa sebagai bahan baku yang mempengaruhi karakteristik biochar-pupuk organik dan dampaknya di dalam tanah dan tanaman dari agroekosistem lahan kering, waktu inkubasi terbaik dalam meningkatkan sifat-sifat tanah dari agroekosistem lahan kering, peningkatan kualitas bahan pembenah tanah dengan menggunakan karbon stabil dan labil untuk memaksimalkan dampaknya dalam mengelola lahan kering iklim kering.

1.2. Pentingnya Riset Yang Mendukung Capaian Renstra Penelitian PT

Renstra penelitian UNITRI diantaranya dengan bidang unggulan Ketahanan Pangan dan salah satu topik unggulannya adalah Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan. Penelitian yang akan dilakukan sangat mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT, karena menawarkan sebuah pengembangan paket teknologi pengelolaan tanah dengan menggunakan biochar-pupuk organik sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas lahan kering iklim kering. Biochar dan pupuk organik sebagai bahan pembenah tanah yang dapat menghemat pemakaian pupuk

anorganik sehingga berdampak pada kualitas pangan, kesehatan, dan ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bahan Baku Biomasa

Jenis bahan baku dan kondisi pirolisis mempengaruhi karakteristik fisiko-kimia biochar. Karena berbagai pilihan biomassa dan sistem pirolisis tersedia, maka variabilitas dalam biochar yang dapat diproduksi tinggi. Variabilitas ini memiliki implikasi pada kandungan dan ketersediaan hara biochar dan nutrisi untuk tanaman saat biochar diterapkan pada tanah (Downie *et al.*, 2009).

Biochar sangat bervariasi dalam komposisi nutrisi dan ketersediaannya tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis. Pemilihan bahan baku awal sangat mempengaruhi produk akhir. Memanfaatkan bahan baku seperti kotoran unggas akan menghasilkan biochar dengan peningkatan unsur hara yang tersedia. Perbandingan antara sampah unggas, sekam kacang dan serpihan pinus menunjukkan kecenderungan yang sama (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan ketersediaan nutrisi antara biochar limbah kotoran sapi dan biosolid (Wang *et al.*, 2012). P tersedia meningkat dengan biochar kotoran sapi karena P lebih mudah larut daripada senyawa Ca dan Mg. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi N dan P yang berasal dari biochar lumpur air limbah serta nutrisi mikro dan makro lainnya, juga menjadi alasan utama untuk penurunan unsur hara yang tersedia (Uchimiya *et al.*, 2012a). Ketersediaan P mungkin berbanding terbalik dengan suhu pirolisis (Zheng *et al.*, 2013). Namun, penelitian lain (Chan *et al.*, 2007, 2008; Gaskin *et al.*, 2008; Qayyum *et al.*, 2012) menunjukkan bahwa kedua bahan baku dan suhu pirolisis memiliki pengaruh pada unsur hara yang tersedia di biochar, dengan kandungan nutrisi umumnya meningkat dengan semakin meningkatnya suhu (Gaskin *et al.*, 2008).

Meskipun konsentrasi hara dalam bahan baku tidak dapat digunakan untuk memprediksi kuantitatif kandungan hara biochar dalam bentuk total atau tersedia, jenis bahan baku yang digunakan selama pirolisis memiliki pengaruh yang kuat pada karakteristik biochar (misalnya Gaskin *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012; Kloss *et al.*, 2012; Spokas *et al.*, 2012a). Gaskin *et al.* (2008) menunjukkan bahwa jumlah N total dari bahan baku ke biochar berkisar antara

27,4-89,6% pada masing-masing biochar kotoran unggas dan chip pinus. Selanjutnya kisaran total P, K, Ca dan Mg bervariasi dari 60-100% dengan kisaran tersedia dari sekitar 10-80% tergantung pada sumber bahan baku (Gaskin *et al.*, 2008).

Pentingnya sumber bahan baku untuk menentukan unsur hara dalam biochar. Dalam karakter bio nabati, kandungan C rendah karena konsentrasi yang lebih tinggi dari mineral lainnya dalam bahan baku (misalnya, mineral silika Brewer *et al.*, 2012). Namun, biochar berbasis tanaman sering memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah (Cantrell *et al.*, 2012) dibandingkan dengan biochar berbasis kotoran hewan. Hal ini terutama berlaku untuk kandungan N total sebagai kandungan N awal bahan baku biasanya lebih rendah dari pupuk; konsentrasi N di biochar yang banyak seperti dalam pupuk disebabkan kandungan protein yang tinggi dalam bahan baku (Tsai *et al.*, 2012). Bersamaan dengan hal itu, biochar nabati cenderung bertindak sebagai sumber langsung dari unsur hara (Cantrell *et al.*, 2012). Di sisi lain, biochar pupuk kandang mungkin lebih cocok untuk memasok unsur hara setelah aplikasi ke dalam tanah.

Potensi untuk semua biochar yang bertindak sebagai kondisioner tanah (untuk meningkatkan C organik tanah dan kandungan bahan organik, atau untuk meningkatkan sifat fisik tanah seperti kapasitas memegang air). Namun, tidak semua biochar akan memasok unsur hara tanaman dalam jumlah yang relevan. Misalnya, biochar kayu lunak mengandung (rata-rata) 200 mg kg⁻¹ P tersedia. Mengingat analisis P tanah untuk jagung dengan irigasi di South Carolina (AS) memanfaatkan pertanian biochar dari air limbah sludge menunjukkan bahwa 67 kg P₂O₅ ha (Hossain *et al.*, 2011) dibandingkan dengan bahan baku biochar yang banyak digunakan lignoselulosa atau pupuk kandang, biochar berbasis alga cenderung C relatif lebih rendah, tapi sering N, P dan unsur hara lainnya tinggi (Bird *et al.*, 2011; Torri *et al.*, 2011). Oleh karena itu, tidak menganggap semua biochar mampu memasok unsur hara tersedia untuk tanaman awal (Graber *et al.*, 2012).

Sifat bahan baku. Komposisi dan ketersediaan hara biochar tergantung pada sifat bahan baku dan kondisi pirolisis di mana biochar diproduksi. Selain

biomassa tanaman, berbagai bahan organik termasuk limbah material seperti kotoran unggas dan lumpur limbah dapat dikonversi ke biochar menggunakan pirolisis. Pyrolysis adalah degradasi biomassa dengan panas dalam ketiadaan oksigen, yang menghasilkan produksi padat (biochar), produk cair dan gas (Demirbas dan Arin, 2002). Menurut Shafizadeh (1982), pirolisis selulosa pada $<300^{\circ}\text{C}$ melibatkan pengurangan berat molekul (dekarboksilasi), air, karbon dioksida (CO) dan carbon monoksida (CO), serta untuk biochar dapat memiliki hara yang sangat berbeda isi dan ketersediaan.

Untuk bahan baku yang sama, hasil biochar sangat tergantung pada kondisi di mana pirolisis dilakukan, yaitu suhu, kecepatan pemanasan, waktu pemanasan dan ukuran partikel (Shafizadeh, 1982; Williams dan Besler, 1996; Demirbas dan Arin, 2002; Uzun *et al.*, 2006; Tsai *et al.*, 2007). Sementara itu dilaporkan bahwa hasil biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Perubahan yang kompleks dan berbagai biomasa selama pirolisis mempengaruhi baik komposisi dan struktur kimia biochar. Dengan implikasi pada kandungan hara dan khususnya ketersediaan hara bagi tanaman. Perubahan dalam komposisi biochar selama pirolisis bahan organik menggunakan teknik molekuler menunjukkan penurunan bertahap dalam jumlah OH dan CH_3 dan peningkatan $\text{C} = \text{C}$ dengan meningkatnya suhu ($150 - 550^{\circ}\text{C}$), perubahan dari struktur C alifatik ke aromatic. Rasio H/C dan O/C biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Biochar mengandung materi abu yang dihasilkan pada suhu rendah dan juga memiliki konsentrasi yang jauh lebih besar daripada biochar pada suhu tinggi. Konversi C alifatik ke aromatik selama pirolisis menyebabkan penurunan tingkat mineralisasi C. Pengurangan mineralisasi C organik juga menunjukkan penurunan ketersediaan nutrisi dalam biochar yang terikat dalam struktur organik, seperti N, P dan S.

Porositas biochar secara signifikan meningkat antara $400-600^{\circ}\text{C}$ dan dapat dikaitkan dengan kenaikan molekul air oleh dehydroxylasi bertindak sebagai pori dan aktivasi agen, sehingga menciptakan pori-pori yang sangat kecil (ukuran nanometer) di biochar (Bagreev *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perbedaan dalam perubahan struktural sebagai fungsi suhu memiliki konsekuensi penting dalam hal luas permukaan dan karakteristik biochar yang diproduksi di bawah kondisi

yang berbeda. Perubahan ini, pada gilirannya, memiliki efek penting tidak langsung pada nilai hara biochar, misalnya, kemampuan retensi kation dan anion hara dari biochar tergantung pada kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion.

Kapasitas tukar kation terbukti sangat rendah pada suhu rendah dan pirolisis meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Lehmann, 2007), yang perlu diuji lebih lanjut, biochar yang baru diproduksi telah terbukti kapasitas tukar kation rendah dibandingkan dengan bahan organik tanah (Cheng *et al.*, 2006, 2008, Lehmann, 2007). Di sisi lain, Kapasitas tukar anion baru diproduksi biochar signifikan pada pH rendah dan biochar memiliki titik tinggi muatan nol bersih (Cheng *et al.*, 2008).

Nitrogen. Lang *et al.* (2005) memantau perubahan kandungan C, H, O, S dan N dari berbagai bahan organik, yaitu empat biomassa kayu, empat biomassa herba dan dua batubara di bawah pirolisis pada 275-1100°C. Semua jenis biomassa kehilangan setidaknya setengah dari N sebagai volatil dengan 400°C. Selama pirolisis limbah lumpur, kandungan N total menurun dari 3,8% pada 400°C dengan 0,94% pada 950°C karena kehilangan bahan organik yang mudah menguap (Bagreev *et al.*, 2001). Demikian pula, Shinogi (2004) melaporkan reduksi N total di biochar dari lumpur limbah dari 5,0% pada 400°C menjadi 2,3% pada 800°C.

Studi dengan tanah pada 25°C dan kapasitas lapangan menunjukkan bahwa jumlah N mineral yang terdeteksi diabaikan bahkan setelah 56 hari (Pritchard, 2003). Hal ini menunjukkan bahwa N dalam lumpur limbah biochar adalah dalam bentuk yang sangat tahan terhadap dekomposisi dan mineralisasi.

Kation basa. Yu *et al.* (2005) mempelajari bentuk kimia dan pelepasan K dan Na selama pirolisis jerami padi antara 400°C dan 1373°C. Antara 473°C dan 673°C, sekitar setengah dari kandungan logam total (masing-masing 48% dan 55% untuk K dan Na) hilang oleh pengupan, dan pada pemanasan lebih lanjut untuk 1373°C, kehilangan lebih lambat dan berjumlah ~ 70%. Sekitar 90% dari total K dalam jerami padi dalam bentuk yang larut dalam air dan karena itu tersedia bagi tanaman sebelum pirolisis: itu adalah bentuk K yang hilang ketika panas hingga 673°C. Dengan meningkatnya suhu (> 600°C), proporsi yang lebih

besar dari K yang tersisa ditemukan dalam bentuk diekstrak tukar dan asam. Wornat *et al.* (1995) menemukan bahwa biochar dari pinus dan rumput yang diproduksi pada 625°C mengandung 15-20% O, dan menggunakan energi dispersif X-ray spektroskopi (EDS), menyimpulkan bahwa K dan Ca juga tersebar dalam matriks biochar dan dapat terikat pada O di biochar sebagai ion phenoxides (yaitu K phenoxides atau sebagai diselingi K). Namun pemanasan lebih lanjut dengan suhu yang lebih tinggi menyebabkan kerugian lebih lanjut oleh penguapan, serta penggabungan K ke dalam struktur silikat, yang diharapkan akan jauh lebih mampu tersedia. Hasil ini didukung oleh temuan Shinogi (2004), yang melaporkan pengurangan K tersedia dari 14 sampai <1 persen selama pirolisis limbah lumpur, sedangkan konsentrasi K total dua kali lipat (0,51% pada 250°C menjadi 1,12% pada 600°C).

Sulphur. 50% dari total S dari delapan jenis biomassa hilang selama pirolisis di 500°C (Lang *et al.*, 2005). Knudsen *et al.* (2004) mempelajari transformasi S selama pirolisis khas jerami gandum. Sebelum pirolisis, S ditemukan diasosiasikan sebagai sulfat anorganik (40-50% dari total S) dan sebagian sebagai protein (50-60%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 35-50% dari total S dilepas ke fase gas selama pirolisis pada 400°C sebagai akibat dari dekomposisi termal organik S. Pada suhu yang lebih tinggi (500°C sampai 700°C), kandungan S biochar tidak berubah secara signifikan. Namun, bentuk S berubah di bawah sangat mengurangi kondisi-kondisi yang berlaku selama pirolisis, dengan hilangnya sulfat anorganik (menjadi 21,1% pada 500°C dan 3,1% pada 800°C) untuk konversi ke larut sulfida (misalnya CAS, K₂S) dalam matriks biocha. Bentuk-bentuk S diharapkan menjadi larut air dan secara biologi kurang tersedia.

Fosfor. Sedikit informasi yang tersedia tentang transformasi P selama pirolisis. Untuk limbah biochar lumpur, konsentrasi total P meningkat dengan meningkatnya suhu dari 5,6% pada 250°C menjadi 12,8% pada 800°C. Menurut Bridle dan Pritchard (2004), 100% pemulihan P diperoleh dalam biochar dihasilkan dari lumpur limbah pada 450°C, dibandingkan dengan 45% dari N, yang hilang selama prosedur yang sama. Namun, studi inkubasi di laboratorium menunjukkan bahwa ketersediaan P dalam biochar ini hanya 13% dari total P,

jauh lebih rendah daripada yang dari biosolid dan pellet biosolid kering (30-40) (Pritchard, 2003). Menurut Bridle dan Pritchard (2004), hampir setengah dari total P di biochar adalah dalam bentuk HCl-diekstrak (yaitu sebagai Ca-terikat anorganik P) dan karena itu kurang tersedia bagi tanaman. Demikian pula, hasil Shinogi (2004) menunjukkan bahwa P tersedia (diukur sebagai sitrat-P terekstrak) di biochar dari lumpur limbah menurun dengan meningkatnya suhu, dari 0,98% pada 250°C sampai 0,06% pada 800°C, meskipun peningkatan jumlah P.

2.2. Komposisi Biochar

Biochar yang dihasilkan dari biomassa, terutama terdiri dari C organik stabil dengan kandungan hara mikro dan makro yang berasal dari bahan baku awal. Biochar dapat meningkatkan fraksi C stabil dalam tanah. C di biochar dalam bentuk aromatik yang tahan terhadap dekomposisi ketika ditambahkan sebagai amandemen tanah (Amonette dan Joseph 2009), sehingga bermanfaat sebagai alat penyerapan C. Namun, komposisi biochar bervariasi menurut jenis bahan baku dan kondisi pirolisis (Downie 2009). Kandungan C sebenarnya dapat berkisar antara 172g kg⁻¹ dan 905g kg⁻¹. Kandungan nitrogen berkisar dari 1,8 kg⁻¹ untuk 56.4g kg⁻¹, jumlah P dari 2.7g kg⁻¹ dan 480g kg⁻¹, jumlah kalium (K) dari 1.0 g kg⁻¹ hingga 58 g kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007; Lehmann *et al.*, 2003, Lima dan Marshall., 2005). Biochar juga mengandung berbagai konsentrasi elemen lain seperti Oksigen (O), Hidrogen (H), N, Sulfur, P, kation basa, dan logam berat (Goldberg, 1985; Preston dan Schmidt 2006). Biochar yang baru diproduksi terdiri dari fase kristal dengan lapisan graphene dan fase amorf struktur aromatik (Lehmann *et al.*, 2005; Cohen-Ofri *et al.*, 2007). Permukaan luar mengandung berbagai kelompok fungsional O dan H dan lembaran graphene mungkin berisi kelompok O dan radikal bebas (Bourke *et al.*, 2007). Selain itu, biochar telah diproduksi dengan berbagai nilai pH antara 4 dan 12, tergantung pada bahan baku awal dan kondisi operasi (Lehmann, 2007). Umumnya, suhu pirolisis rendah (<400 °C) menghasilkan biochar asam, sementara meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan biochar alkali. Setelah dimasukkan ke dalam tanah, terjadi oksidasi permukaan karena reaksi air, O₂ dan berbagai agen tanah (Cheng

et al., 2006; Lehmann., 2007). Kapasitas tukar kation (KTK) biochar segar biasanya sangat rendah, tetapi meningkat dengan waktu sebagai umur biochar dengan adanya O₂ dan air (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2006).

Ada peningkatan kekhawatiran terkait dengan kontaminan yang disimpan dalam biochar dan pencucian ke dalam tanah setelah ditambahkan sebagai amandemen, namun ini tergantung pada asal-usul bahan baku pirolisis dan proses konversi. Biochar dapat mengandung kontaminan seperti logam berat dan senyawa organik, tetapi umumnya terkait dengan limbah lumpur, atau bahan baku kayu (Lievens *et al.*, 2009) dan kemungkinan tidak akan menjadi masalah jika dihasilkan dari biomassa hutan. Kontaminan yang terkandung dalam bahan baku bisa mengalami perubahan selama proses pirolisis dan dihancurkan atau diubah menjadi senyawa jinak, sementara yang lain dapat disimpan dalam biochar dan berpotensi merugikan jika ditambahkan ke tanah. Selain itu, beberapa kontaminan (misal hydrocarbon polycyclic aromatic) dapat terbentuk selama pirolisis. Hydrocarbons polycyclic aromatic (PAH) dapat dibentuk dari setiap bahan baku karbon, tetapi konsentrasi tergantung bahan baku (Zhurinsk *et al.*, 2005). Dengan demikian, penting untuk memahami komposisi kimia dari bahan baku dan biochar untuk menghindari konsekuensi terhadap lingkungan yang potensial sebelum menambahnya ke tanah.

Amendemen tanah dengan biochar dari berbagai bahan baku akan mengakibatkan efek pada sifat-sifat tanah dan efek berikutnya pada pertumbuhan tanaman yang berbeda. Suhu dan laju pemanasan proses pirolisis juga memiliki efek penting pada sifat fisik maupun kimia dari biochar yang dihasilkan (Amonette dan Joseph 2009; Downie *et al.*, 2009), yang akan berdampak pada sifat tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Bahan baku seperti kotoran unggas dapat menyebabkan biochar dengan pH tinggi dan kandungan P, sementara lumpur limbah dapat menghasilkan biochar dengan N tinggi dan konsentrasi logam berat. Vegetasi segar, kayu atau kulit dapat membuat biochar dengan pH netral, dan konsentrasi hara yang mencerminkan konsentrasi bahan baku (Chan dan Xu 2009). Gaskin (2010) membandingkan biochar yang berasal dari kulit kacang atau serpihan kayu, dan menemukan biochar kulit kacang biochar memiliki konsentrasi

nutrisi yang lebih tinggi dan menaikkan pH dan konsentrasi kation dasar ketika ditambahkan ke tanah, sementara biochar serpihan kayu tidak banyak berpengaruh pada parameter ini. Dari data terbatas yang tersedia, tidak ada jenis biochar yang diaplikasi dengan kisaran optimum, yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002). Sangat mungkin bahwa aplikasi biochar tingkat optimum akan bervariasi dan perlu ditentukan untuk setiap jenis tanah dan spesies tumbuhan.

Porositas dan luas permukaan adalah karakteristik penting dari biochar. Pori-pori yang lebih besar di biochar adalah hasil dari struktur vaskular biomassa asli. Namun, pori nano kecil yang memberikan kontribusi besar ke daerah permukaan biochar itu, hasil dari kondisi suhu tinggi yang digunakan selama pirolisis (Brewer *et al.*, 2009). Biochar dapat memiliki berbagai macam bidang permukaan tergantung pada kondisi bahan baku dan pengolahan, tetapi biasanya biochar switchgrass berkisar $7\text{-}50\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ dan biochar pinus berkisar dari $<10\text{-}400\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ (Brown *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009). Luas permukaan tanah berkisar $0,01\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk pasir kasar dan $750\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk kaolinit tanah liat, yang berarti adalah mungkin mengaplikasikan biochar terutama di tanah berpasir untuk meningkatkan luas permukaan keseluruhan (Downie *et al.*, 2009). Pada pirolisis suhu lebih tinggi, struktur C alifatik diubah menjadi struktur C aromatik, sehingga lebih banyak pori mikro dan luas permukaan yang umumnya lebih besar di biochar yang dihasilkan (Hammes *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009.). Sebaliknya, telah dilaporkan bahwa menurunnya luas permukaan dapat terjadi dengan pirolisis suhu tinggi dan tingkat pemanasan tinggi (Lua *et al.*, 2004). Lua *et al.*, (2004) menemukan bahwa ketika suhu pirolisis meningkat $500\text{-}800^\circ\text{C}$, dan dengan peningkatan waktu reaksi, luas permukaan menurun. Fenomena ini terjadi lebih sering dengan abu tinggi dan mungkin akibat dari penguapan parsial abu atau komponen biomassa lainnya membentuk apa disebut "meleleh menengah", yang menutup pori-pori dan mengurangi luas permukaan (Lua *et al.*, 2004).

Kandungan unsur hara total dari biochar rata-rata rendah dengan suhu pirolisis, jenis dan interaksi, selama rentang bahan baku biochar. Secara umum, meningkatnya suhu pirolisis meningkatkan konsentrasi unsur hara total. Peningkatan suhu pirolisis biasanya menyebabkan hilangnya sifat mudah terurai

seperti senyawa volatil dan elemen (misalnya, O, H, N, S) dan dengan demikian unsur hara lain yang terkonsentrasi di biochar, termasuk C, Ca, Mg dan K (Kim *et al.*, 2012; Kinney *et al.*, 2012). Bahkan, peningkatan konsentrasi unsur hara, seperti C, dengan meningkatnya suhu pirolisis sering dikaitkan dengan kerugian H dan O dari biochar (Antal dan Gronli.,2003). Selanjutnya, selama pirolisis terjadi serangkaian reaksi pembelahan dan polimerisasi yang mengakibatkan penciptaan struktur C tetap stabil (Spokas *et al.*, 2012a), yang secara langsung berkaitan dengan peningkatan konten biochar C. Untuk mendukung fakta-fakta ini, Bolan *et al.*, (2012) melakukan teknik C fraksionasi berurutan, mencatat bahwa mayoritas C biochar tetap dalam bentuk non labil (tidak tersedia untuk degradasi mikroba). Namun, ketersediaan C tergantung dengan suhu pirolisis yang lebih tinggi yang terkait dengan C non-labil yang lebih besar (Nelissen *et al.*, 2012).

Selain itu, suhu yang lebih besar bisa menimbulkan efek konsentrasi karena hilangnya unsur-unsur lain oleh penguapan. Sebagai contoh, tampak bahwa kadar N total mencapai tingkat maksimum antara 300 sampai 399°C dan menurun pada suhu yang lebih besar. Cantrell *et al.* (2012) mengamati respon yang sama di kotoran hewan. Koutcheiko *et al.* (2007) menemukan respon yang sama, berpotensi hilangnya N yang mengandung rantai amino alifatik yang dilepaskan pada saat pemanasan yang lebih besar. Rugi konten P total dengan meningkatnya suhu pirolisis juga telah diamati. Knicker (2007) menunjukkan bahwa senyawa yang mengandung P dapat menguap dekat 760°C, yang menjelaskan penurunan kandungan P saat bahan baku dipirolisis pada temperatur yang lebih besar dari 800°C.

Pengaruh suhu pirolisis dari total kandungan unsur hara biochar berbeda tergantung pada panjang periode pirolisis. Lebih khusus, meningkatnya suhu selama pirolisis lambat akan cenderung terkonsentrasi dan dengan demikian meningkatkan kandungan unsur hara total (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan dengan pirolisis cepat. Namun, telah menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan pirolisis lambat, pirolisis cepat dapat mengakibatkan konversi lengkap dari C ke bentuk yang lebih stabil (Bruun *et al.*, 2012a). Dengan demikian, adalah mungkin bahwa total C dalam biochar pirolisis akan cepat lebih mudah dimineralisasi.

Biochar mengandung sejumlah unsur anorganik, namun pasokan unsur

hara tersedia bisa sangat bervariasi (Lentz dan Ippolito, 2012; Liu *et al.*, 2012). Sebuah penelitian yang dilakukan pada tahun 2012, di mana keduanya dianalisa tersedia dan total unsur hara dilaporkan dan mendukung anggapan ini. Tidak ada hubungan antara P tersedia dan P total ($r^2 = 0,05$) di berbagai biochar yang dilaporkan. Sebaliknya, antara 55 dan 65% dari K, Mg dan Ca tersedia dari biochar dapat berhubungan dengan konsentrasi total. Hal ini segera jelas bahwa konsentrasi total elemental tidak bisa akurat untuk memprediksi kandungan unsur hara yang tersedia di biochar, ada faktor-faktor lain seperti kondisi pirolisis mempengaruhi unsur hara yang hilang maupun yang dipertahankan.

Meskipun kadar N total dari biochar berkisar 0,09-3,3 persen, literatur telah melaporkan bahwa jumlah N tersedia sebagai nitrat (NO_3) diabaikan. Bahkan, persentase yang tersedia N dibandingkan dengan total dalam semua kasus adalah $<0,01$ persen. Rendah konsentrasi N diekstrak (sebagai NO_3 , NH_4 , NO_2) di biochar paling sering diamati (Belyaeva dan Haynes, 2012) dan dapat disebabkan kehilangan gas N selama pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Pada suhu pirolisis $< 760^\circ\text{C}$ (Knicker, 2007), ketersediaan P kemungkinan dikendalikan oleh kation terkoordinasi (Al, Fe, Ca, Mg) dan tergantung pada bahan baku (T. Wang *et al.*, 2012). Dalam kasus biochar, kemungkinan P akan terkait dengan Ca dan Mg karena biochar pH tinggi, dengan beberapa senyawa ini dalam bentuk tersedia. P tersedia berkisar 0,4-34 persen dari total P di biochar. Kalium juga biasanya terkonsentrasi dalam biochar dan cenderung sangat tersedia. Cantrell *et al.* (2012) menunjukkan bahwa konsentrasi K total (dalam kombinasi dengan Na) adalah prediktor penting dari konduktivitas listrik biochar, atau jumlah garam yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk K di biochar adalah larut dalam air. Ketersediaan kalium berkisar 3,5-100 persen dari total K.

2.3. Karakteristik Fisik Biochar

Menurut Adriana Downie, Alan Crosky, dan Paul Munro *et al.* (...), sifat fisik biochar fungsinya untuk manajemen lingkungan. Karakteristik fisik biochar baik secara langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan cara di mana biochar mempengaruhi sistem tanah. Tanah memiliki sifat fisik yang berbeda tergantung pada sifat mineral dan bahan organik, jumlah relatif mineral dan bahan

organik dan cara di mana mineral dan bahan organik berhubungan (Brady dan Weil, 2008). Ketika biochar diterapkan dalam tanah, kontribusinya terhadap sifat fisik mungkin signifikan mempengaruhi kedalaman, tekstur, struktur, porositas dan konsistensi melalui perubahan luas permukaan, ukuran distribusi pori, distribusi ukuran partikel, kepadatan dan kemasaman. Efek biochar pada sifat fisik tanah memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman karena kedalaman penetrasi dan ketersediaan udara dan air dalam zona akar. Biochar secara langsung akan mempengaruhi respon tanah untuk air, agregasi, kinerja selama persiapan tanah, dinamika mengembang-menyusut, permeabilitas, serta kapasitasnya untuk mempertahankan kation dan responnya terhadap perubahan suhu lingkungan. Selain itu, secara tidak langsung, kesuburan tanah secara kimia dan biologi dapat dihasilkan dari sifat fisik, seperti presentase fisik untuk reaksi kimia dan penyediaan habitat pelindung untuk mikroba tanah (Brady dan Weil, 2008).

Asal struktur biochar. Karakteristik fisik biochar tidak hanya tergantung pada bahan organik mulai (biomassa), tetapi juga sistem karbonisasi atau pirolisis (termasuk pra dan pasca-penanganan biomassa dan biochar). Tingkat perubahan struktur asli biomassa melalui penataan ulang struktur mikro selama pemrosesan dan pembentukan retak. Biochar adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada karbon tinggi yang terbentuk sebagai hasil dari pyrolysis bahan organik, material dapat berasal dari beragam bahan biomassa. Struktur asli sebagian besar jenis bahan dicantumkan pada produk biochar (Laine *et al*, 1991; Wildman dan Derbyshire, 1991) dan, dengan demikian, memiliki pengaruh pada karakteristik akhir fisik dan struktural. Selama pyrolysis, massa hilang (sebagian besar dalam bentuk organik yang mudah menguap) dan jumlah proporsional penyusutan atau pengurangan volume yang terjadi. Oleh karena itu, selama konversi termal, kerangka mineral dan C dibentuk untuk mempertahankan porositas dan struktur dari bahan asli. Pori-pori berukuran besar berfungsi sebagai feeder untuk pori-pori lebih rendah (pori meso dan mikro) (Fukuyama *et al.*, 2001; Martínez *et al*, 2006; Zabaniotou *et al*, 2008). Komposisi kimia dari bahan baku biomassa memiliki dampak langsung pada sifat fisik dari biochar yang dihasilkan. Pada suhu di atas 120°C, bahan organik mulai mengalami dekomposisi termal dan kehilangan

kelembaban. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260°C, cellulose pada 240-350 °C, dan lignin pada 280-500 °C (Sjöström, 1993). Proporsi komponen anorganik (abu) juga memiliki implikasi untuk struktur fisik.

Karakteristik Struktural. Struktur biochar dapat mempengaruhi beberapa karakteristik kualitasnya. Porositas dan permukaan bidang biochar sangat penting dan memiliki peran besar dalam menentukan potensi penggunaan akhir. Struktur makro awal bahan baku adalah sama dengan yang ada pada yang dihasilkan biochar dan ini terutama terjadi untuk bahan tanaman yang tinggi selulosa (Sohi *et al.*, 2010). Pirolisis menghilangkan senyawa, macrostruktur dari biomassa sebagian besar dipertahankan dalam biochar itu. Namun, stres struktural menyebabkan retakan di strukture makro, dan keluarnya gas volatil yang menyebabkan pori-pori kecil dan terbuka di bahan (Downie *et al.*, 2009).

Luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Downie *et al.*, 2009; Sohi *et al.*, 2010). Bagreev *et al.* (2001) menggambarkan bahwa peningkatan porositas dan luas permukaan biochar terkait dengan suhu pirolisis. Boateng (2007) menemukan bahwa luas permukaan biochar dihasilkan dari switchgrass rendah; mulai 7,7-7,9 m² g⁻¹. Penelitian lain melaporkan hasil awal yang sama, tetapi kemudian menunjukkan bahwa luas permukaan biochar meningkat karena suhu pirolisis meningkat dari 400 sampai 950°C (masing-masing 41-99 m² g⁻¹) (Bagreev *et al.*, 2001). Keiluweit *et al.* (2010) menunjukkan kecenderungan umum dari luas permukaan meningkatnya biochar dengan meningkatnya pirolisis suhu. Keiluweit *et al.* (2010) juga menggambarkan bahwa porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang.

Sementara mekanisme kapasitas tanah memegang air meningkat dengan biochar adalah tidak dipahami dengan baik, hal ini juga diketahui bahwa luas permukaan partikel tanah sangat mempengaruhi memegang kapasitas memegang air; pasir memegang sedikit air dan tanah liat memegang banyak. Menambahkan biochar untuk tanah untuk meningkatkan luas permukaan dapat berdampak pada kapasitas memegang air. Meskipun umumnya biochar cenderung meningkatkan

kapasitas adsorpsi air dan tingkat infiltrasi beberapa tanah, beberapa peneliti telah melaporkan bahwa beberapa biochar diproduksi pada suhu rendah 400°C).

Kondisi pirolisis suhu rendah juga dapat menghasilkan biochar yang cocok untuk digunakan sebagai hidrofobik, yang dapat membatasi efektivitasnya untuk menyimpan air dan pengganti pupuk (Hari *et al.*, 2005). Sementara biochar yang dibuat pada suhu tinggi akan lebih baik/ cocok untuk kegiatan adsorpsi seperti mengurangi kontaminasi logam berat dalam tanah (Sohi *et al.*, 2010). Sebaliknya, Boateng (2007) menunjukkan bahwa biochar yang diproduksi pada 480°C memiliki adsorpsi karakteristik rendah tanpa aktivasi lebih lanjut. Selain itu, telah ditemukan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah yang rapuh dan rentan terhadap abrasi (Hari *et al.*, 2005). Oleh karena itu porositas dan luas permukaan biochar tidak dapat mempengaruhi kualitas produk dalam jangka panjang.

Luas permukaan tanah dan biochar. Karakteristik luas permukaan tanah sangat penting karena mempengaruhi semua fungsi untuk kesuburan, termasuk air, udara, siklus nutrisi dan aktivitas mikroba. Keterbatasan kapasitas tanah berpasir untuk menyimpan air dan nutrisi tanaman sebagian berhubungan dengan luas permukaan yang relatif kecil dari partikel tanah (Troeh dan Thompson, 2005). Pasir kasar memiliki permukaan spesifik yang sangat rendah sekitar $0.01\text{m}^2\text{g}^{-1}$, dan pasir halus sekitar $0.1\text{m}^2\text{g}^{-1}$ (Troeh dan Thompson, 2005). Lempung memiliki permukaan spesifik relatif besar dari $5\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ untuk kaolinit dan sekitar $750\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ untuk montmorillonit. Tanah yang sebagian besar mengandung liat memiliki kapasitas menahan air tinggi tetapi aerasi yang cukup (Troeh dan Thompson, 2005). Kadar bahan organik tinggi telah dibuktikan untuk mengatasi masalah terlalu banyak air pada tanah liat, dan juga meningkatkan kadar air dalam tanah berpasir (Troeh dan Thompson, 2005). Ada indikasi yang sama biochar mengubah sifat fisik tanah, dalam hal ini memiliki banyak manfaat yang sama dengan amandemen organik lainnya (Chan *et al.*, 2007). Permukaan spesifik biochar yang umumnya lebih tinggi daripada pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi dari tanah liat, karena itu akan menyebabkan kenaikan bersih total permukaan spesifik tanah ketika ditambahkan sebagai amandemen.

Pengaruh biochar pada populasi mikroba dalam tanah. Biomassa mikroba

tanah umumnya meningkat dengan meningkatnya kandungan liat di bawah kondisi lapangan dan laboratorium (Amato dan Ladd, 1992, Juma, 1993; Müller dan Hoper, 2004). Respon ini umumnya dikaitkan dengan peningkatan permukaan (Juma, 1993). Luas permukaan yang lebih tinggi dari tanah bertekstur lebih halus dapat mengakibatkan peningkatan kadar air total dan perlindungan fisik membaik. Percobaan biochar telah dikaitkan dengan peningkatan struktur tanah atau aerasi tanah di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

Distribusi ukuran partikel. Ukuran partikel dari biochar yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik sangat tergantung pada sifat dari bahan asli. Susut dan gesekan selama pirolisis serta ukuran partikel dari bahan baku bahan organik cenderung lebih besar daripada biochar yang dihasilkan. Dalam beberapa kasus, partikel dapat menggumpal, sehingga peningkatan ukuran partikel juga ditemukan (Cetin *et al.*, 2004). Tergantung pada intensitas mekanik dari teknologi pirolisis yang digunakan, tingkat gesekan dari partikel biomassa yang terjadi selama pemrosesan. Hal ini terutama berlaku dalam penanganan pasca-bahan sebagai biochar secara signifikan lebih gembur dibanding biomassa asli.

Biochar berasal dari serbuk gergaji dan serpihan kayu dengan pra perlakuan yang berbeda, menghasilkan ukuran partikel yang kontras. Proses pirolisis, melalui energi terus menerus lambat (tingkat pemanasan $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hingga $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$) mengakibatkan peningkatan proporsi partikel dalam distribusi ukuran yang lebih kecil untuk kedua bahan baku, yang diukur dengan pengayak kering. Hal ini juga dapat dilihat sebagai HTT pirolisis meningkat (450°C sampai 500°C sampai 700°C), ukuran partikel cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan oleh penurunan kekuatan tarik materi seperti yang lebih lengkap bereaksi, sehingga kurang tahan terhadap gesekan selama pemrosesan.

Tergantung pada teknologi yang digunakan, bahan baku biomassa disusun dengan cara yang berbeda. Semakin cepat laju pemanasan, semakin kecil partikel bahan baku untuk memfasilitasi perpindahan panas dan massa dari reaksi pirolisis. Bahan baku pada pirolisis cepat adalah pra-diproses untuk debu halus atau bubuk, karena itu, biochar yang dihasilkan sangat halus. Teknologi pirolisis lambat terus menerus, yang terjadi pada tingkat pemanasan lebih lambat ($\sim 5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ sampai $30^{\circ}\text{C min}^{-1}$), dapat menampung partikel yang lebih besar sampai

dalam dimensi beberapa sentimeter. Dalam sebuah studi pirolisis kelapa sawit, ditemukan bahwa hasil biochar yang dipengaruhi oleh ukuran partikel batu dan suhu pirolisis maksimum (Syamsuddin dan Williams, 1992). Waktu retensi lebih lama akan mengatasi pengaruh ukuran partikel yang lebih besar.

Peningkatan susut linier dari partikel yang dipirolisis dapat terjadi dalam hubungannya dengan hilangnya bahan volatile (Emmerich dan Luengo, 1996; Freitas *et al.*, 1997). Misalnya, karena suhu pirolisis meningkat dari 200°C sampai 1000°C, susut linier partikel ditunjukkan meningkat 0-20 persen untuk biochar gambut (Freitas *et al.*, 1997). Cetin *et al.* (2004) menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pirolisis (dari atmosfer ke-5, 10 dan 20 bar) mengarah ke pembentukan partikel biochar besar.

Kepadatan Biochar. Dua jenis kepadatan biochar: kepadatan padat dan kepadatan massal/nyata. Kerapatan padat adalah densitas pada tingkat molekuler, terkait dengan tingkat dari struktur C. Densitas adalah bahan yang terdiri dari beberapa partikel dan termasuk porositas makro dalam setiap partikel dan rongga antar partikel. Seringkali, peningkatan kepadatan padat disertai dengan penurunan kepadatan massal sebagai porositas yang berkembang selama pirolisis. Hubungan antara dua jenis kepadatan ditunjukkan oleh Guo dan Lua (1998), yang melaporkan bahwa kepadatan massal meningkat dengan perkembangan porositas 8,3-24 persen pada suhu pirolisis hingga 800°C (Guo dan Lua, 1998). Namun, ketika temperature meningkat sampai 900°C, kepadatan massal biochar meningkat dan porositas menurun. Hubungan terbalik antara kerapatan padat dan massal juga ditunjukkan oleh Pastor-Villegas *et al.*, (2006) untuk biochar eucalyptus diproduksi dalam tungku kontinyu memiliki kedua nilai terendah kepadatan massal dan tertinggi nilai kerapatan padat.

Kepadatan maksimum C di biochar telah dilaporkan berada diantara 2.0 g cm⁻³ dan 2.1 g cm⁻³ berdasarkan pengukuran sinar-X (Emmett, 1948). Nilai-nilai tersebut hanya sedikit di bawah kepadatan grafit padat 2.25 g cm⁻³. Kepadatan paling kokoh biochar, bagaimanapun, adalah secara signifikan lebih rendah dari grafit karena porositas residu dan struktur turbostratik (Oberlin, 2002), dengan nilai-nilai khas sekitar 1,5 g cm⁻³ sampai 1.7g cm⁻³ (Jankowska *et al.*, 1991; Oberlin, 2002). Nilai yang lebih rendah seperti dari biochar kayu pinus yang

dikumpulkan dari situs kebakaran alami di 1.47 g cm^{-3} (Brown *et al.*, 2006). Biochar diaktifkan untuk menghasilkan porositas mikro untuk adsorpsi gas lebih padat dibandingkan jika biochar dioptimalkan untuk menghasilkan porositas meso dan makro untuk pemurnian cairan (Pan dan van Staden, 1998).

Kepadatan dari biochar tergantung pada sifat bahan awal dan proses pirolisis (Pandolfo *et al.*, 1994). Kepadatan biochar meningkat dengan meningkatnya proses suhu dan lama pemanasan. Jumlah yang lebih rendah dari volatil, yang memiliki berat molekul rendah dari fixed C, dan kandungan abu rendah menghasilkan kepadatan tinggi padat di biochar (Jankowska *et al.*, 1991). Namun, Brown *et al.* (2006) menunjukkan kepadatan yang independen laju pemanasan dan langsung tergantung kepadatan pada suhu akhir pirolisis.

Bulk density juga merupakan fitur fisik penting dari biochar. Villegas *et al.* (2006) menemukan bahwa kepadatan sebagian besar biochar terbuat dari berbagai jenis kayu olahan dalam berbagai jenis kiln tradisional berkisar antara $0,30 \text{ g cm}^{-3}$ sampai 0.43 g cm^{-3} . Nilai densitas diberikan dalam literatur untuk karbon aktif yang digunakan untuk rentang adsorpsi gas dari 0.40 g cm^{-3} sampai 0.50 g cm^{-3} , sedangkan untuk karbon aktif yang digunakan untuk decolourization, kisaran adalah 0.25 g cm^{-3} untuk tambahan $0,75 \text{ cm}^{-3}$ (Rodríguez-Reinoso, 1997). Byrne dan Nagle (1997) membentuk hubungan linier antara kepadatan sebagian besar kayu dan biochar terbuat dari bahan yang sama, yang mencakup berbagai spesies.

2.4. Nutrisi Biochar

Chan *et al.* (2009) melaporkan atribut positif dari biochar adalah unsur hara yang disediakan baik secara langsung dengan memberikan nutrisi untuk tanaman atau secara tidak langsung dengan meningkatkan kualitas tanah, dengan konsekuen dalam peningkatan efisiensi penggunaan pupuk. Sebagai ukuran langsung dari nilai hara biochar bukan kandungan hara total melainkan hara tersedia yang merupakan pertimbangan penting. Kandungan nutrisi total bukan merupakan indikator yang tepat dari ketersediaan nutrisi, hanya sebagian kecil dari kandungan total hara yang segera tersedia atau mudah dikonversi menjadi bentuk yang tersedia untuk penyerapan oleh tanaman (Keeney, 1982). Contoh dari unsur hara langsung dari biochar adalah kemampuannya untuk mempertahankan

nutrisi dalam tanah dan karena itu mengurangi pencucian hara sehingga terjadi peningkatan serapan hara. Menurut Glaser *et al.* (2001), salah satu alasan kemampuan tanah Terra Preta Amazon ditandai dengan tingginya kandungan biochar seperti karbon pyrogenic (C), menyebabkan kesuburan tanah yang tinggi (dibandingkan dengan tanah subur yang berdekatan) adalah kemampuannya untuk mempertahankan nutrisi. Contoh lain dari nilai hara tidak langsung biochar adalah perbaikan terhadap hambatan tanah dalam membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman (misalnya penggunaan kapur untuk mengatasi keasaman tanah, dengan hasil peningkatan efisiensi penggunaan pupuk dan peningkatan produksi tanaman).

Kandungan hara dari biochar. Biochar yang diproduksi dari biomassa diharapkan mengandung karbon yang tinggi dan mengandung berbagai hara makro dan mikro. Komposisi biochar tergantung pada sifat dari bahan baku dan kondisi pirolisis. Tinjauan literatur telah mengungkapkan bahwa hanya sedikit sekali informasi yang tersedia mengenai sifat hara biochar. Sebagian besar penelitian tentang pirolisis biomassa telah difokuskan pada energi dan kualitas bahan bakar (Horne dan Williams, 1996; Tsai *et al.*, 2006) daripada biochar sebagai amandemen tanah. Selanjutnya, informasi tentang kandungan hara dan sifat biochar tidak selalu digunakan dalam penelitian agronomi dalam pelaporan hasil eksperimen, sehingga sulit untuk menilai nilai agro-ekonomi dari biochar. Keseluruhan komposisi elemental C, nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), P tersedia dan mineral N serta pH biochar seperti yang tercatat dalam literatur oleh berbagai penelitian.

Hal yang paling mencolok adalah variabilitas yang tinggi dari semua parameter, kecuali pH. Dalam kasus pH, data menunjukkan bahwa biochar digunakan sebagai amandemen tanah dalam penelitian sebelumnya biasanya alkali ($\text{pH} > 7,0$). Namun, biochar dapat diproduksi di hampir semua pH antara 4 dan 12 (Lehmann, 2007) dan dapat menurunkan ke nilai pH 2,5 setelah inkubasi jangka pendek empat bulan pada 70°C (Cheng *et al.*, 2006). Kandungan karbon berkisar antara 172 g kg^{-1} dan 905 g kg^{-1} (koefisien variasi, $\text{CV} = 106,5\%$). Rentang yang lebih besar dalam N total ($1,8\text{ g kg}^{-1}$ kg $56,4\text{ g kg}^{-1}$), jumlah P ($2,7\text{ g kg}^{-1}$ kg 480 g kg^{-1}) dan total K ($1,0\text{ g kg}^{-1}$ sampai 58 g kg^{-1}), semua dengan CV 100%.

Variabilitas dapat dikaitkan dengan bahan baku yang berbeda dan kondisi yang berbeda di mana berbagai biochar diproduksi. Pengaruh bahan baku sangat jelas dalam kandungan total P yang lebih tinggi ditemukan pada biochar yang diproduksi dari bahan baku yang berasal dari kotoran hewan (limbah lumpur dan broiler) dibandingkan dari tanaman (misalnya kayu). Demikian pula, N total dari limbah lumpur (64 g kg^{-1} ; Bridle dan Pritchard, 2004) jauh lebih tinggi daripada yang berasal dari nabati murni (misalnya limbah hijau) (1.7 g kg^{-1} ; Chan *et al.*, 2007b). Dibandingkan dengan bentuk organik lain yang biasa digunakan dalam pertanian, baik N total dan kandungan P biochar mencakup rentang yang lebih luas daripada yang dilaporkan untuk pupuk organik. Penting untuk dicatat bahwa jenis bahan baku yang sama dapat menghasilkan biochar sangat berbeda. Sebagai contoh, Chan *et al.* (2007b) melaporkan jumlah kandungan N 20 g kg^{-1} untuk biochar dihasilkan dari sampah unggas dibandingkan dengan 7.5 g kg^{-1} dan 6.0 g kg^{-1} untuk dua biochar yang terbuat dari sampah unggas yang berbeda dilaporkan oleh Lima dan Marshall (2005). Perbedaan yang besar seperti N total adalah kualitas sampah unggas yang berbeda atau dari kondisi pirolisis berbeda. Suhu yang lebih tinggi (700°C) digunakan oleh Lima dan Marshall (2005) dibandingkan dengan 450°C dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007b). Informasi ini menunjukkan kondisi selama pirolisis menentukan sampai batas yang signifikan kandungan N melalui penurunan N lebih besar pada suhu pirolisis yang lebih tinggi.

Kandungan total unsur banyak, khususnya nutrisi organik yang terikat seperti N dan belerang (S) tidak selalu mencerminkan ketersediaan hara aktual untuk tanaman. Sangat sedikit data tentang kandungan hara yang tersedia dalam biochar yang ditemukan dalam literatur. Dari data terbatas yang tersedia, mineral N sangat rendah dan P tersedia sangat bervariasi. Meskipun N total tinggi 6,4%, biochar dihasilkan dari limbah lumpur ditemukan memiliki N mineral (amonium- N^+ nitrat-N) bahkan setelah 56 hari inkubasi (Bridle dan Pritchard, 2004). Demikian pula, mineral N ditemukan $<2 \text{ mg kg}^{-1}$ untuk limbah hijau dan arang kotoran unggas dengan N total masing-masing 1.7 mg kg^{-1} dan 20 mg kg^{-1} (lihat Tabel 5.1, Chan *et al.*, 2007b). Sebaliknya, K tersedia dalam biochar biasanya tinggi dan peningkatan penyerapan K sebagai hasil dari aplikasi biochar telah sering dilaporkan (Lehmann *et al.*, 2003b; Chan *et al.*, 2007c). Rasio C/N biochar

bervariasi antara 7-400, dengan rata-rata 67. Rasio ini sering digunakan sebagai indikator kemampuan substrat organik untuk mineralisasi dan pelepasan N anorganik ketika diaplikasikan ke tanah. Umumnya, rasio C/N organik substrat kurang dari 20 digunakan sebagai batas kritis atas imobilisasi N oleh mikroorganisme, terjadi karena N diaplikasikan dengan substrat tidak tersedia bagi tanaman (Leeper dan Uren, 1993). Sullivan dan Miller (2001) mengemukakan bahwa kompos dengan C/N rasio di atas 25-30 mengurangi N anorganik. Berdasarkan nilai-nilai ini, mengingat C/N rasio sangat tinggi, sebagian besar biochar menyebabkan imobilisasi N dan mungkin menginduksi kekurangan N dalam tanaman bila diterapkan pada tanah saja. Namun, ada ketidakpastian jika kriteria yang sama dapat langsung diterapkan untuk biochar. C/N rasio Terra Preta tanah biasanya lebih tinggi daripada Ferralsol yang berdekatan, tetapi cenderung memiliki N yang lebih baik (Lehmann et al., 2003a). Sebagian besar biochar terdiri dari C organik sangat recalcitrant, yang tidak mudah termineralisasi, imobilisasi N diabaikan meskipun C/N rasio tinggi. Penerapan biochar mungkin mengakibatkan penurunan serapan N, seperti yang ditunjukkan dalam beberapa penelitian (misalnya Lehmann *et al.*, 2003b, Rondon *et al.*, 2007). Ada kemungkinan karena sebagian kecil dari biochar baru diproduksi yang relatif mudah dimineralisasi, tetapi dapat menyebabkan immobilisasi N karena rasio C/N-nya tinggi. Namun, sebagian besar sisa C organik (dengan lebih tinggi C/N) tidak menyebabkan reaksi imobilisasi karena tingkat tinggi dari perlawanan biologis.

Dari 16 biochar yang dibuat dari biomassa tanaman yang berbeda serta limbah unggas, P tersedia diekstrak bikarbonat (Colwell, 1963) ditemukan berkisar antara 1-15 mg kg⁻¹ dan 11.600 mg kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007b). Tingkat P tersedia lebih tinggi ditemukan di biochar yang dihasilkan dari limbah unggas dibandingkan dari biomassa tanaman. Namun, kandungan logam berat yang tinggi telah dilaporkan pada biochar dihasilkan dari berbagai bahan (misalnya limbah lumpur dan limbah penyamakan kulit) (Muralidhara, 1982; Bridle dan Pritchard, 2004). Kekang dan Pritchard (2004) melaporkan konsentrasi tinggi dari tembaga (Cu), seng (Zn), kromium (Cr) dan nikel (Ni) dalam biochar dihasilkan dari limbah lumpur. Biochar dihasilkan dari limbah penyamakan kulit

bisa sangat tinggi dalam Cr (Muralidhara, 1982) sebagai logam ini dapat membuat 2 persen dari total berat kering limbah. Cr ditemukan untuk mengikat bahan organik di biochar dalam bentuk kompleks trivalen dan dapat dipulihkan oleh resapan dengan asam sulfat encer (Muralidhar, 1982). Sedikit yang diketahui tentang ketersediaan logam ini berpotensi beracun.

Beberapa dari biochar memiliki konsentrasi karbonat yang cukup tinggi (lihat Tabel 5.1), yang berharga sebagai bahan pengapuran untuk mengatasi keasaman tanah (Van Zweiten et al, 2007). Chan et al (2007b) melaporkan kandungan karbonat kurang dari 0,5-33% untuk berbagai biochar dihasilkan dari bahan baku dan kondisi yang berbeda. Tidak ada hubungan langsung antara nilai pengapuran dan pH biochar. Dari data yang ada, tidak ada tingkat optimum aplikasi biochar dapat diperoleh karena variabilitas besar dalam karakteristik biochar. Glaser et al (2002) dan FFTC (2007) menyimpulkan bahwa tingkat aplikasi optimal biochar harus ditentukan untuk setiap jenis tanah dan jenis tanaman.

Unsur hara yang tersedia. Dalam arti yang paling umum, unsur hara yang tersedia adalah sebagian dari unsur atau senyawa yang dapat diasimilasi oleh tanaman yang tumbuh. Di tanah, berbagai ekstraktan (air, 1M KCl, 0.5M K₂SO₄, NH₄OAc pada pH 7, Morgan, Mehlich-III, Mehlich-I, Bray, Olsen, DTPA, dll) telah digunakan untuk mengkorelasikan unsur hara yang diekstrak dengan serapan hara tanaman. Pendekatan ini telah digunakan untuk membedakan elemen yang mungkin tersedia dari biochar.

Meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan hasil yang beragam dalam hal status unsur hara yang tersedia dalam biochar. Meningkatkan suhu pirolisis telah terbukti menyebabkan hasil panen yang optimal. Mengingat konsentrasi P di biochar kayu lunak, sekitar 145 Mg ha⁻¹ akan diperlukan untuk memasok P bagi kebutuhan tanaman. Sebagai perbandingan, biochar sampah yang berisi tujuh kali lebih banyak P tersedia, perlu diterapkan sekitar 20 mg ha⁻¹. Nilai ini mungkin masih dianggap tidak masuk akal untuk produksi pertanian. Perbandingan antara biochar hazelnut dan limbah pabrik kertas dalam hal penyediaan K tersedia. Rata-rata konsentrasi K tersedia K untuk biochar limbah hazelnut dan papermill masing-masing 890 dan 20,800 mg kg⁻¹. Mempertimbangkan media tanah irigasi

untuk nilai uji K jagung di South Carolina menyarankan bahwa 67 kg dari K_2O ha^{-1} akan diperlukan oleh tanaman.

pH dan pengapuran. Suhu pirolisis memiliki dampak pada pH biochar. Secara khusus, meningkatnya suhu pirolisis menghilangkan fungsi asam kelompok karboksilat dan kadar abu meningkat (Novak *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2002; Ahmad *et al.*, 2012; Cantrell *et al.*, 2012). Enders *et al.* (2012) menunjukkan bahwa suhu pirolisis meningkat dari 300 ke 600°C, pH meningkat pada kotoran sapi dan biochar berbasis biomassa kayu. Pada pirolisis suhu yang lebih besar, unsur hara dalam bentuk mineral atau garam (seperti KOH, NaOH, $MgCO_3$, $CaCO_3$, garam logam organik) terpisah dari matrik organik padat, sehingga nilai pH tinggi (Cao dan Harris, 2010; Knicker, 2007). Karena pH, biochar telah digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam (Yuan dan Xu, 2011; Uchimiya *et al.*, 2012b), sehingga bisa berfungsi sebagai agen pengapuran (Kloss *et al.*, 2012). Efek pengapuran mungkin kuantitas produk lapang, biochar ini kalsium karbonat ekivalen (CCE, nilai biochar telah terkait dengan kuantitas setara $CaCO_3$). Meningkatkan suhu pirolisis akan meningkatkan CCE biochar. Efek ini telah digambarkan oleh beberapa studi (Hass *et al.*, 2012; T. Wang *et al.*, 2012). Selain itu, mengaktivasi uap elevasi selama pirolisis dapat meningkatkan pH biochar serta kalsium karbonat setara (CCE) dibandingkan dengan karakter biochar non-aktif (Hass *et al.*, 2012).

Retensi hara. Biochar dapat mempertahankan unsur hara melalui beberapa mekanisme termasuk adsorpsi elektrostatis dan retensi unsur hara yang larut dalam air (yaitu, jebakan; Lehmann *et al.*, 2003). Lebih khusus, kemampuan beberapa biochar untuk mempertahankan unsur hara tersebut berkaitan dengan luas permukaan yang besar, kuantitas kelompok fungsional dan porositas yang besar. Luas permukaan dan porositas di biochar dapat sangat bervariasi tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis (Verheijen *et al.*, 2010). Jeong *et al.* (2012) menunjukkan bahwa biochar kayu (sebagian besar terdiri dari sweetgum dan ek chip) memiliki luas permukaan spesifik lebih besar dibandingkan dengan biochar kayu lunak (yang sebagian besar terdiri dari yellow chip rendah dan pinus), masing-masing 242 dibanding 159 $m^2 g^{-1}$. Namun ketika rata-rata data biochar di semua kayu dan kayu lunak diterbitkan pada tahun 2012, sedikit ada perbedaan

antara kedua data. Bahkan, sulit untuk menarik kesimpulan sehubungan dengan luas permukaan biochar berdasarkan hanya dari bahan baku. Dengan demikian, sulit untuk menarik kesimpulan dari retensi hara berdasarkan bahan baku.

Namun, luas permukaan spesifik cenderung meningkat dengan suhu pirolisis seperti yang digambarkan oleh berbagai penelitian (Ahmad et al, 2012; Lu et al, 2012; Cantrell et al, 2012; Chen et al, 2012; Hass et al, 2012; Shen et al, 2012) dan dapat menyebabkan penyimpanan unsur hara yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan spesifik dengan suhu pirolisis yang paling sering dikaitkan dengan kedua perubahan fisik dan kimia dalam biochar tersebut. Misalnya, Ahmad et al (2012) menggunakan scanning mikroskop elektron untuk mempelajari perubahan struktural berikut pirolisis biochar brangkas kedelai dan Peabody shell kacang. Diameter sel pori berkurang, pori-pori internal yang muncul dan selanjutnya meningkatkan luas permukaan. Selain itu, adalah mungkin bahwa pada pirolisis suhu rendah yang terjadi pori mikro; dengan demikian, menghasilkan area permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan biochar suhu yang lebih tinggi di mana penguapan menyebabkan peningkatan luas permukaan (Munoz et al, 2003; Kloss et al, 2012). Chen et al (2008) menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis menghilangkan H dan O yang mengandung gugus fungsional, sehingga menyebabkan bertambahnya area permukaan biochar. Chen et al (2012) menjelaskan bahwa peningkatan suhu pirolisis mengurai selulosa dan lignin, juga menyebabkan peningkatan luas permukaan. Dengan seiring bertambahnya luas permukaan spesifik (misalnya, Borchard et al, 2012b). Proses tersebut menyebabkan ukuran pori berkurang dan luas permukaan meningkat yang mungkin menyebabkan peningkatan retensi hara. Pirolisis cepat dibandingkan dengan pirolisis lambat, dalam hal luas permukaan biochar, satu hal yang mungkin menganggap bahwa biochar pirolisis cepat akan berisi luas permukaan yang lebih besar dan dengan demikian menunjukkan lebih besar retensi hara. Memerlukan awal ukuran bahan baku partikel yang lebih kecil untuk memperlambat pirolisis. Namun, hal ini tidak jelas bahwa awal ukuran partikel lebih kecil berpengaruh pada luas permukaan spesifik. Biochar pirolisis cepat memiliki area permukaan rendah ($8.0\text{m}^2\text{ g}^{-1}$; Boateng, 2007; Hilber et al, 2012)

dibandingkan dengan memperlambat pirolisis biochar. Hal ini kemungkinan disebabkan transformasi fisika-kimia lengkap selama pirolisis cepat.

Kapasitas tukar kation (KTK). KTK biochar dikembangkan jika produk terkena oksigen dan air, menciptakan kelompok permukaan fungsional (Briggs *et al.*, 2012; Chan dan Xu, 2009). Mirip dengan tanah, KTK biochar mewakili kemampuannya untuk penyerapan elektrostatis atau menarik kation. Meskipun biochar berbasis organik dan karena itu tergantung pH, KTK seperti bahan organik tanah. Bertambahnya suhu pirolisis cenderung menyebabkan penurunan KTK; Fenomena ini diamati oleh Lin *et al* (2012) dan Rajkovich *et al* (2012). Hal ini disebabkan penghilangan kelompok fungsional organik (yaitu, materi yang lebih mudah menguap) di suhu pirolisis yang lebih besar (Gaskin *et al*, 2008; Cantrell dan Martin, 2012; Kloss *et al*, 2012). Memang, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan dekomposisi lignin dan selulosa dalam bahan baku (Novak *et al*, 2009) menyebabkan hilangnya kelompok fungsional. Dengan demikian, potensi terjadinya retensi hara awal akan lebih rendah bila biochar dibuat dan dibandingkan dengan suhu pirolisis rendah (Ippolito *et al*, 2012a). Namun, retensi hara juga mungkin merupakan fungsi dari oksidasi jangka pendek dan jangka panjang setelah biochar dimasukkan ke dalam lingkungan (Quilliam *et al*, 2012).

Penelitian khusus serapan unsur hara telah dilakukan pada Cu, NH₃ dan NH₄. Borchard *et al.* (2012a) menyarankan bahwa kelompok fungsional yang mengandung oksigen dalam biochar bertanggung jawab untuk keseluruhan penyerapan. Cu ditemukan berinteraksi dengan kimia biochar dan interaksi fisik (misalnya, jerapan) diabaikan. Tanggapan serupa telah diamati untuk Cr pada sabut kelapa biochar (Shen *et al*, 2012). Ippolito *et al.* (2012b) menunjukkan bahwa, sebagian Cu terikat dalam biochar melalui kelompok fungsional ligan organik, namun beberapa presipitasi karbonat / oksida tidak terjadi. Uchimiya *et al.* (2012b) menunjukkan penghilangan kelompok alifatik dan N-mengandung gugus fungsional hetero aromatik dengan suhu pirolisis tinggi, yang berkorelasi positif dengan retensi Cu di biochar berbasis kotoran. Penyerapan senyawa nitrogen dengan biochar juga telah disarankan (Dempster *et al.*, 2012a; Kammann *et al*, 2012; Sarkhot *et al.*, 2012). Ding *et al.*, (2010) dan Hina *et al.*, (2010)

mencatat bahwa penyerapan NH_4 ke biochar terjadi terutama melalui pertukaran ion, kekuatan coulomb, fiksasi serapan kimia amonia atau asosiasi dengan kelompok S-fungsional. Taghizadeh-Toosi *et al.* (2012) menunjukkan bahwa di samping karbon stabil, Unsur hara makro dan mikro adalah komponen paling utama dalam biochar (Lehmann *et al.*, 2011), meskipun, jumlah dan ketersediaan unsur hara bervariasi berdasarkan bahan baku dan kondisi pirolisis. Dengan memberikan tambahan unsur hara ke dalam tanah, dan akibatnya mempengaruhi serapan hara tanaman, aplikasi biochar dapat mengubah kemampuan kompetitif dari spesies tanaman tertentu. Secara khusus, spesies polong telah terbukti manfaat dari perubahan biochar (Rondon *et al.*, 2007). Misalnya, penambahan biochar, identik dengan yang digunakan dalam penelitian ini, ke padang rumput yang kaya spesies di Belanda menghasilkan hampir tiga kali lipat peningkatan dalam proporsi biomassa dari kacang-kacangan (semanggi terutama merah, *Trifolium pratense*) setelah satu musim tanam.

Beberapa mekanisme telah diusulkan untuk menjelaskan kemampuan kompetitif dari kacang-kacangan dengan biochar (Lehmann dan Rondon, 2006). Misalnya, imobilisasi N oleh komunitas mikroba telah ditemukan setelah penambahan arang ke Ferralsol (Lehmann *et al.*, 2003). Selain pengurangan N tersedia, biochar dimediasi peningkatan pH tanah (Jeffery *et al.*, 2011). Biochar sebagai amandemen tanah untuk perbaikan kesehatan tanah melalui fisik tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan kimia. Biochar terdiri dari struktur berpori, karbon aromatik stabil yang sangat tahan terhadap degradasi kimia dan mikroba (Glaser *et al.* 2001). Dengan demikian, mampu eksekusi karbon di tanah (Rondon *et al.* ,2005). Seperti amandemen biochar dapat mempengaruhi populasi mikroba tanah dan aktivitasnya, penerapan tingkat biochar dan karakteristik tanah itu sendiri perlu penelitian untuk memantau tanggapan di tanah dengan perlakuan biochar (Lehmann *et al.*, 2011). Sementara biochar memiliki rasio karbon dan nitrogen tinggi (C/N rasio), membuatnya menjadi rendah sumber unsur hara. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi yang dapat meningkatkan KTK, pH, retensi hara, dan kapasitas memegang air, terutama di tanah bertekstur berpasir (Lehmann *et al.*, 2006).

Kapasitas biochar untuk mengubah tanah akan tergantung pada jenis dan tingkat biochar dan dampaknya dalam skala waktu yang diberikan (Unger *et al.* 2011). Perubahan biochar dan luas permukaan yang tinggi sering berkorelasi dengan peningkatan KTK yang dapat meningkatkan ketersediaan dan penggunaan efisiensi unsur hara di beberapa tanah tergantung pada spesifikasi biochar. Dengan demikian, KTK tanah rendah seharusnya yang paling terkena dampak. Juga, biochar berpotensi dapat meningkatkan pH tanah, yang kemudian banyak berpengaruh pada transformasi hara dan kemampuannya untuk tanaman, khususnya di tanah asam (Fowles, 2007). Namun, pH tanah dapat meningkat atau menurun tergantung pada pH dan kandungan kapur dari biochar sendiri (Lehmann *et al.*, 2011). Secara umum, biochar dan amandemen organik lainnya yang ditambahkan ke tanah harus meningkatkan nutrisi tersedia bagi rizosfer tanaman (Steiner *et al.*, 2007). Biochar telah terbukti secara signifikan meningkatkan hasil panen dan mutu yang baik melalui peningkatan pasokan unsur hara (Steiner *et al.*, 2007, Unger *et al.*, 2011). Oleh karena itu, memahami interaksi antara tingkat biochar dan komunitas mikroba di dalamnya diperlukan untuk model yang lebih baik dari efek biochar dan implikasinya pada fungsi tanah. Hal ini juga diperlukan dalam berbagai jenis tanah sebagai hasil sebelumnya yang menyarankan tanah miskin adalah yang paling ditingkatkan dengan penambahan biochar (Atkinson *et al.*, 2010).

Pengaruh amandemen biochar terhadap produktivitas jagung sebelumnya telah terbukti meningkatkan produktivitas tanaman dengan meningkatkan sifat fisik dan biokimia tanah yang dibudidayakan (Asai *et al.*, 2009; Mayor *et al.*, 2010b.). Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisika dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Yamato *et al.*, 2006; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). Asai *et al.* (2009) melaporkan penurunan hasil padi gogo (*Oryza sativa* L.) berikut penerapan amandemen biochar saja tanpa pemupukan N dalam tanah yang kekurangan N. Namun dalam Ultisol terdegradasi (asam, sangat lapuk dan tanah yang miskin hara) dari Kenya, Kimetu *et al.* (2008) melaporkan hasil jagung kumulatif untuk menggandakan setelah aplikasi biochar diulang tiga dari 7 t ha⁻¹ lebih dari 2 tahun. Namun, Mayor *et al.* (2010b) menunjukkan tidak ada perubahan dari produksi

jagung pada tahun pertama dan peningkatan yang signifikan dalam 3 tahun berikutnya yang asalnya dosis tunggal biochar kayu pada 20 t ha⁻¹ di sabana Kolombia Oxisol (mirip sifat kimia untuk Ultisol). Dalam penelitian ini, produksi jagung mengalami peningkatan sebesar 11,6% -18,2% dengan pemupukan N dan 7% -16% tanpa pemupukan N di bawah amandemen biochar masing-masing pada tingkat 20-40 t ha⁻¹. Peningkatan produksi jagung di tanah dengan perlakuan biochar dapat dikaitkan dengan ketersediaan hara (Chan *et al.*, 2007; 2008; Zhang *et al.*, 2010) dan untuk memperbaiki sifat fisik tanah ditunjukkan oleh penurunan berat volume tanah. Namun meningkatnya hasil sepertinya tidak sebanding dengan tingkat amandemen biochar untuk ketersediaan N bisa menurun di bawah aplikasi biochar tinggi (Lehmann *et al.*, 2003) sebagai C/N rasio 15 dibandingkan 13. Dalam studi sebelumnya, peningkatan efisiensi penggunaan N pada produktivitas beras dan agronomi lebih tinggi ditemukan di sebuah tanah sawah kaya karbon organik tanah berikut aplikasi biochar pada tingkat 10 t ha⁻¹ dan 40 t ha⁻¹ (Zhang *et al.*, 2010). Dalam penelitian ini dengan tanah berkapur yang miskin karbon organik tanah, efisiensi penggunaan N pada agronomi juga meningkat secara signifikan di bawah amandemen biochar. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amandemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008; Zimmermann *et al.*, 2012); Generasi bioenergi (Laird, 2008; Lehmann, 2007); adsorpsi polutan organik dan anorganik (Hale *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2012) serta meningkatkan kesuburan tanah (Jeffery *et al.*, 2011; Spokas *et al.*, 2012). Efek kesuburan tanah telah dijelaskan dalam hal penambahan unsur hara dengan biochar, juga oleh perubahan biochar secara fisik tanah, kimia atau sifat biologis (Kookana *et al.*, 2011 (Parvage *et al.*, 2013); Oguntunde *et al.*, 2008; Thies dan Rilling, 2009). Namun, mekanisme di balik pengaruh hasil yang diamati tetap tidak jelas. Hipotesis untuk efek ini termasuk peningkatan efisiensi pupuk penggunaan dengan mengurangi hilangnya nutrisi melalui pencucian (Blackwell *et al.*, 2010; Laird *et al.*, 2010) Atau peningkatan ketersediaan hara karena peningkatan aktivitas mikroba, seperti jamur mikoriza

arbuskula (AMF) (Warnock *et al.*, 2007). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa selain biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan fiksasi nitrogen biologis Xavier tion (BNF) ketika kacang-kacangan yang hadir (Nishio, 1996; Rondon *et al.*, 2007). Namun, mekanisme di balik efek ini juga masih belum jelas. Fiksasi N biologis diperkirakan berkontribusi kira-kira $17,2 \times 10^7$ t nitrogen ke tanah secara global setiap tahun (Ishizuka, 1992). Tanaman polongan telah diperkirakan berkontribusi sekitar setengah dari simbiosis BNF global diperkirakan $21,5 \times 10^6$ t (Herridge *et al.*, 2008). Ini menunjukkan bahwa BNF adalah layanan ekosistem penting untuk pertanian global dan pemahaman seperti kemungkinan dampak dari aplikasi biochar pada layanan ini sangat penting.

Kapasitas pertukaran ion. Kapasitas retensi hara biochar (dan tanah) bergantung pada kapasitas pertukaran kation dan kapasitas pertukaran anion (Chan & Xu., 2009). Kation (bermuatan positif ion) dan anion (ion bermuatan negatif) tertarik dengan muatan berlawanan. Nutrisi tanaman seperti kalsium, kalium, fosfor, dan nitrogen ada di larutan tanah; terutama sebagai kation dan anion dalam beberapa kasus. Pada tanah, partikel kecil, seperti humus dan tanah liat, membawa muatan negatif dan karena itu menarik kation, sedangkan anion relatif bebas bergerak dalam larutan tanah dan keduanya bebas tersedia untuk diserap oleh tanaman dan untuk pencucian. Kapasitas tukar kation menentukan kemampuan tanah untuk menahan kation dan, sebagai aturan umum, semakin tinggi kapasitas pertukaran kation, tanah semakin subur.

Biochar memiliki kapasitas pertukaran anion yang cukup dan karena itu dapat menyerap anion nutrisi (seperti nitrat dan fosfat). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al* 2007; Lehmann., 2007a; Navia & Crowley., 2010). Temuan ini akan menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit, sementara kapasitas tukar anion mereka adalah substansial.

Kapasitas pertukaran kation biochar tinggi memiliki kemampuan untuk menyerap

logam berat dan kontaminan organik seperti pestisida dan herbisida dari lingkungan (Navia & Crowley., 2010). Penambahan biochar untuk tanah pertanian sebagai sebuah amelioran tanah yang diperkirakan mempengaruhi efektivitas bahan kimia pertanian, seperti herbisida dan pestisida (Jones et al., 2011a; Kookana., 2010; Smernik., 2009). Efek ini perlu dipahami sebelum aplikasi luas dari biochar untuk tanah pertanian.

Kandungan hara biochar. Kondisi operasi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisiko-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan nutrisi dalam biochar setiap tanaman. Biochar berasal dari kotoran dan hewan-produk bahan baku relatif kaya nutrisi bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Namun, biochar secara umum mungkin lebih penting digunakan untuk modifikasi tanah dan transformasi hara dan kurang begitu sebagai sumber utama nutrisi (DeLuca *et al.*, 2009).

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan nutrisi, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6 persen ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800°C, (Bagreev *et al.*, 2001). Studi lain melaporkan efek yang sama pada kandungan nitrogen di kedua biochar kayu dan herba. Nitrogen secara bertahap dilepaskan dari sampel char, mulai dari 400°C dan terus berlanjut sampai ke 750°C, di mana waktu sedikit lebih dari setengah nitrogen awal (Lang et al 2005). Selain hilangnya sebagian nitrogen, penurunan juga ditemukan pada ketersediaan nitrogen yang tersisa untuk tanaman (Bagreev *et al.*, 2001). Penjelasan untuk ini mengusulkan bahwa sisa nitrogen yang dimasukkan ke dalam matrik karbon, membatasi ketersediaan nitrogen dalam biochar yang dihasilkan (Bagreev et al., 2001; Chan & Xu., 2009; Macias &

Arbestain., 2010).

pH. Biochar digunakan untuk memperbaiki tanah biasanya alkalin yang mungkin memiliki efek menaikkan pH tanah. Namun, tidak semua biochar adalah basa. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann., 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa meningkatkan suhu pirolisis dapat meningkatkan pH dari beberapa biochar. Telah ditemukan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 310 sampai 850°C, biochar dihasilkan dari ampas tebu.

2.5. Karakteristik Biologi Biochar

Thies and Rillig (2009) menyampaikan bahwa penelitian di Jepang dan di AS telah menunjukkan bahwa biochar merangsang aktivitas berbagai mikroorganisme tanah pertanian dan sangat mempengaruhi mikrobiologis dalam mengikat tanah (Ogawa *et al.*, 1983; Pietikäinen *et al.*, 2000). Kehadiran dan ukuran distribusi pori-pori di biochar menyediakan habitat yang cocok bagi banyak mikroorganisme dengan melindungi dari predator dan pengeringan dan menyediakan beragam (C), kebutuhan energi dan mineral (Saito dan Muramoto, 2002; Warnock *et al.*, 2007). Kepentingan menggunakan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah, banyak studi ilmiah yang dilakukan untuk lebih memahami bagaimana biochar mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah dan kesesuaian sebagai habitat mikroba. Karena organisme tanah menyediakan berbagai layanan ekosistem, memahami bagaimana menambahkan biochar ke tanah dapat mempengaruhi ekologi tanah yang sangat penting untuk kualitas tanah.

Diantara jasa ekosistem yang menyediakan mikroorganisme tanah dari bahan organik yang melapuk dan imobilisasi hara anorganik, penyaringan dan bioremediasi kontaminan tanah, penyakit tanaman dan menekan penyebab pelepasan gas rumah kaca, dan meningkatkan porositas tanah, agregasi dan infiltrasi air (Coleman, 1986; Thies dan Grossman, 2006; Paul, 2007). Ketika mereka berinteraksi dengan tanaman di rizosfer, bakteri, jamur, protozoa dan nematoda sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk memperoleh unsur hara makro dan mikro. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat langsung dari asosiasi

mutualistik antara akar tanaman dan mikroorganisme, seperti dengan mikoriza arbuskular (AM) jamur (*Glomeromycota*, Robson et al., 1994) atau fiksasi nitrogen (N₂) dari bakteri rhizobia, atau melalui trofik interaksi yang dihasilkan dari ekskresi nutrisi, seperti protozoa dan nematoda (Brussaard et al., 1990). Aktivitas mikroba sangat mempengaruhi fungsi tanah sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman. Sifat fisik dan lingkungan kimia biochar dapat mengubah dari kegiatan biologi. Sifat dan fungsi komunitas mikroba tanah berubah sebagai respon terhadap banyak faktor seperti iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies dan Grossman, 2006). Biochar mempengaruhi biota tanah mungkin berbeda dari jenis lain dari bahan organik ditambahkan, karena stabilitas biochar membuat tidak mungkin menjadi sumber energi yang baik atau sel C setelah setiap awal bio-minyak atau kondensat telah terurai. Sebaliknya, perubahan fisik dan kimia biochar sampai lingkungan tanah yang pada gilirannya mempengaruhi karakteristik dan perilaku biota tanah.

Biochar sebagai habitat bagi mikroorganisme tanah. Struktur pori biochar, luas permukaan internal yang tinggi dan kemampuannya untuk menyerap bahan organik terlarut, gas dan nutrisi anorganik kemungkinan untuk menyediakan habitat yang sangat cocok bagi mikroba untuk menjelajah, tumbuh dan berkembang biak, terutama untuk bakteri, actinomycetes dan jamur mikoriza arbuskula. Beberapa anggota kelompok ini dapat menjelajah permukaan biochar tergantung pada sifat fisik dan kimia dari biochar yang berbeda. Ruang pori biomassa yang dipirolisis meningkat beberapa lipat selama pembakaran dan berhubungan dengan suhu pembakaran dan bahan baku. Perkiraan luas permukaan yang dihasilkan biochar berbeda berkisar dari 10 sampai beberapa ratus meter persegi per gram (m² g⁻¹), yang memberikan area permukaan meningkat secara signifikan untuk kolonisasi mikroba. Tergantung pada ukuran pori tertentu, mikroba yang berbeda akan atau tidak akan memiliki akses ke ruang internal. Beberapa penulis telah menyarankan bahwa pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat berlindung atau mikrohabitat bagi mikroba kolonial, di mana mereka dilindungi dari predator alami (Saito dan Muramoto, 2002, Warnock *et al.*, 2007) atau di mana mikroba itu kurang kompetitif dalam lingkungan tanah yang menjadi nyaman (Ogawa, 1994). Variasi ukuran pori partikel biochar yang

berbeda dari bahan baku dan kondisi pirolisis seperti koloni mikroflora dan dilindungi, terutama dalam pori-pori yang lebih kecil. Porositas biochar tinggi juga dapat untuk mempertahankan kelembaban yang lebih. Pietikäinen et al. (2000) melaporkan bahwa dua biochar, dari humus dan dari kayu, kapasitas menahan air (WHC) lebih tinggi (2.9 mL g^{-1} bahan kering) dari karbon aktif (1.5 mL g^{-1} bahan kering) atau batu apung (1.0 mL g^{-1} bahan kering). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat menyebabkan peningkatan secara keseluruhan dalam kapasitas menahan air dari tanah yang akan ditambahkan. Untuk biochar dengan kandungan mineral abu tinggi, porositas akan terus meningkat karena abu yang tercuci dari waktu ke waktu, dengan demikian, kapasitas biochar untuk mempertahankan air, menyediakan permukaan untuk mikroba untuk memperbanyak diri, dan untuk berbagai elemen dan senyawa untuk menjadi teradsorpsi juga cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Pori-pori yang lebih kecil akan menarik dan mempertahankan air kapiler tanah lebih lama daripada pori-pori yang lebih besar (lebih besar dari $10 \mu\text{m}$ untuk $20 \mu\text{m}$) di kedua biochar dan tanah. Air adalah pelarut universal dan keberadaan biologis di pori biochar meningkatkan 'Huni' biochar substansial.

Embun, suhu dan konsentrasi ion hidrogen (pH) adalah faktor lingkungan yang paling kuat mempengaruhi kelimpahan bakteri, keragaman dan aktivitasnya (Wardle, 1998). Fierer dan Jackson (2006) menemukan bahwa keragaman komunitas bakteri tanah berbeda dengan tipe ekosistem, tetapi bahwa perbedaan terutama oleh pH tanah, dengan keragaman bakteri tertinggi di tanah netral dan terendah di tanah asam. Kegiatan populasi bakteri juga sangat dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam dan basa, protein menjadi terdenaturasi dan aktivitas enzim dihambat, merusak proses metabolisme. Biochar bervariasi dalam pH, tergantung pada bahan baku dan suhu pirolisis dan, dengan demikian, juga akan bervariasi dalam komunitas mikroba yang berkembang di sekitarnya. Di bawah pH ekstrem, jamur akan mendominasi karena memiliki berbagai toleransi pH, kebanyakan bakteri lebih memilih pH sekitar netral. Menambahkan biochar ke tanah, apakah asam atau alkali, dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam komposisi komunitas tanah dengan mengubah rasio keseluruhan bakteri terhadap jamur, serta dominasi genera yang berbeda dalam populasi ini. Hal ini juga secara

signifikan dapat mengubah fungsi tanah dengan mempengaruhi aktivitas enzim dan, dengan demikian, aktivitas mikroba secara keseluruhan.

Biochar dapat meningkatkan habitat bagi mikroorganisme tanah dan akar tanaman (Atkinson *et al.*, 2010) sebagai aplikasinya juga dapat meningkatkan retensi kelembaban di tanah ringan dan filtrasi air dan drainase di tanah yang lebih berat. Dengan demikian, meningkatkan karakteristik fisika tanah dapat meningkatkan interaksi kimia yang mendukung aktivitas mikroba. Karena biochar adalah resistensi terhadap degradasi mikroba, perbaikan ini dapat bertahan untuk waktu yang lama. Banyak studi juga menunjukkan bahwa lebih baik memahami efek biochar di jenis tanah yang berbeda sehingga akan membantu dalam menggunakannya untuk manajemen yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda dan mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapannya (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dapat mengubah proses biologis di tanah seperti mineralisasi N dan nitrifikasi dengan mempengaruhi komunitas bakteri yang terlibat dalam proses ini serta memberikan lingkungan yang sesuai untuk meningkatkan keseluruhan aktivitas mikroba (Berglund *et al.*, 2004). Telah didokumentasikan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Kolb *et al.* (2009) mempelajari pengaruh penambahan biochar pada biomassa dan aktivitas mikroba; biochar ditambahkan ke empat tanah yang berbeda: Mollisol, Alfisol, Entisol, dan Spodosol di lima tingkat aplikasi dari 0,1 kg/kg biochar-tanah. Hasil menunjukkan signifikan di kedua biomassa mikroba dan aktivitas dengan meningkatnya tingkat aplikasi. Penelitian ini juga menunjukkan pola yang sama dari dampak biochar pada biomassa mikroba, aktivitas mikroba, dan ketersediaan hara di keempat tanah tetapi respon mikroba adalah beragam, tergantung pada perbedaan kemampuan memanfaatkan hara di setiap tanah (Kolb *et al.* 2009). Juga, Butnan *et al.* (2015) menyelidiki penambahan biochar yang berasal dari dua jenis *eucalyptus* kayu pada empat tingkat (0, 1, 2, dan 4% b/b) yang ditambahkan ke Ultisol berpasir dan Oxisol liat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengapuran adalah aspek yang paling menguntungkan dari penambahan biochar di kedua tanah, terutama tanah berpasir Ultisol, yang

memiliki kesuburan rendah. Tingkat aplikasi biochar yang paling menguntungkan diamati antara 1 dan 2% b / b (Butnan *et al.*, 2015).

Biochar sebagai substrat untuk biota tanah. Bakteri dan jamur bergantung pada enzim ekstraseluler untuk mendegradasi substrat di lingkungan mereka menjadi molekul yang lebih kecil yang kemudian dapat diambil ke dalam sel dan digunakan untuk berbagai kegiatan metabolik (Thies dan Grossman, 2006; Paul, 2007). Permukaan menjadi sangat penting dalam hal ini, apakah permukaan agregat tanah, akar tanaman, partikel tanah liat, bahan organik tanah atau biochar. Aktivitas enzim ekstraseluler akan tergantung pada lokasi molekul pada protein yang berinteraksi dengan permukaan biochar. Jika bagian aktif enzim terkena fungsional dan bebas untuk berinteraksi dengan lingkungan, maka peningkatan aktivitas dapat terjadi. Namun, jika bagian aktif lemah maka dapat mengakibatkan aktivitas berkurang. Karbon organik tanah memainkan peran penting dalam siklus hara dan meningkatkan cadangan air tersedia bagi tanaman, kapasitas buffer tanah dan struktur tanah (Horwath, 2007). Peneliti menggunakan biochar sebagai zat relatif inert yang diubah sangat sedikit oleh kimia atau proses biokimia dari waktu ke waktu (Nichols *et al.*, 2000). Namun, sifat permukaan biochar melakukan perubahan dengan waktu dan secara perlahan termineralisasi selama jangka waktu yang lama. Meskipun biochar tidak sepenuhnya lambat, laju dekomposisi jauh lebih lambat daripada bahan organik yang tidak diarsir. Oleh karena itu, partikel biochar sendiri tidak bertindak sebagai substrat yang signifikan untuk metabolisme mikroba. Sebaliknya, sisa bio-minyak pada partikel dan kisaran senyawa teradsorpsi ke permukaan biochar tampaknya menjadi satu-satunya substrat yang tersedia dalam jangka pendek untuk mendukung pertumbuhan mikroba dan metabolisme.

Populasi mikroba tanah dapat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas biochar yang ditambahkan ke tanah. Kualitas biochar sangat tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Flash carbonizing (McClellan *et al.*, 2007) dan beberapa kondisi pirolisis suhu rendah meninggalkan residu bio-minyak dan turunan lainnya pada permukaan biochar (Steiner *et al.*, 2008). Tergantung pada komposisi senyawa sisa pirolisis, mereka dapat berfungsi sebagai substrat pertumbuhan mikroba dan metabolit-LISM, seperti yang diusulkan oleh Ogawa

(1994) dan Steiner *et al.*, (2008), tetapi mereka juga dapat menjadi racun bagi tanaman seperti ditunjukkan oleh McClellan *et al.*, (2007), dan mungkin untuk beberapa mikroba.

Bio-minyak, Abu, asam pyroligneous (HK) (Steiner *et al.*, 2008) dan materi (VM) (McClellan *et al.*, 2007) volatile, antara lain, adalah istilah yang diberikan oleh berbagai peneliti untuk berbagai residu yang tersisa di permukaan biochar segera setelah pirolisis. Permukaan mengikuti kondensat pirolisis dapat mencakup senyawa yang larut dalam air seperti asam, alkohol, aldehida, keton dan gula yang mudah dimetabolisme oleh mikroba tanah. Namun, tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis, mereka mungkin juga mengandung senyawa seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, Kresol, xilenols, formaldehida hyde, akrolein dan senyawa karbonil beracun lainnya yang dapat memiliki aktivitas bakterisida atau fungisida (Painter, 2001). Ogawa (1994) dan Zackrisson *et al.*, (1996) telah menunjukkan bahwa zat ini dapat menjadi C dan sumber energi bagi mikroba yang dipilih. Waktu pergantian substrat ini cenderung berada di urutan satu sampai dua musim dan, dengan demikian, tidak akan menentukan komposisi komunitas untuk waktu yang lama.

Smith *et al.* (1992) menunjukkan bahwa kemampuan dalam dinamika adsorpsi nutrisi dan C yang mengandung substrat oleh biochar mungkin mengubah interaksi kompetitif antara mikroba dan perubahan struktur komunitas secara keseluruhan dan dinamika. Pietikäinen *et al.* (2000) mengeksplorasi kemampuan biochar terbuat dari *Empetrum nigrum*, biochar terbuat dari humus, karbon aktif dan batu apung untuk menyerap karbon organik terlarut dan mendukung populasi mikroba. Jenis dan ketersediaan substrat yang terkait dengan adsorben yang berbeda menyebabkan kolonisasi oleh komunitas mikroba yang berbeda. Perbedaan dalam komunitas permukaan mungkin, pada gilirannya, menghasilkan perubahan dalam tersedianya nutrisi untuk tanaman dan siklus nutrisi, secara umum, di tanah yang ditambahkan adsorben.

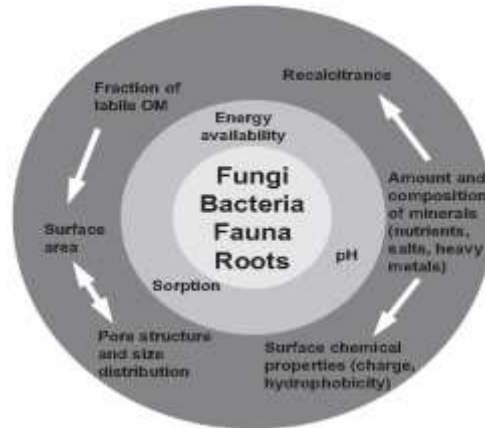
Efek Biochar pada aktivitas biologi tanah. Tanah dapat dipandang sebagai komunitas organisme yang kompleks yang terus berubah sebagai respon terhadap karakteristik tanah, faktor iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies & Rillig 2009). Namun, penambahan biochar ke tanah cenderung

memiliki efek yang berbeda pada biota tanah (semua organisme hidup dalam tanah) dibandingkan dengan penambahan segar bahan organik (biomassa). Perbedaan muncul karena relatif stabilnya biochar dan kurangnya energi dan karbon biologis yang bisa digunakan dibandingkan dengan bahan organik segar. Namun demikian, penambahan biochar ke tanah mempengaruhi kelimpahan, aktivitas dan keragaman komunitas biotik tanah. Selain biochar dapat merangsang aktivitas mikroorganisme dalam tanah, berpotensi mempengaruhi sifat mikrobiologi tanah (Hammes dan Schmidt, 2009). Daripada memasok mikroorganisme dengan sumber utama nutrisi, pemikiran biochar untuk meningkatkan lingkungan fisik dan kimia dalam tanah, memberikan mikroba dengan habitat yang lebih menguntungkan (Krull *et al.*, 2010). Biochar, karena sifat berpori, area permukaan yang tinggi dan kemampuannya untuk mengadsorpsi materi organik larut dan nutrisi anorganik, menyediakan habitat yang sangat cocok untuk mikroba. Hal ini berlaku untuk bakteri, jamur mikoriza arbuskula actinomycete dan dari beberapa jenis yang mungkin istimewa menjelajah biochar tergantung pada sifat fisio-kimia properti. Pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat perlindungan untuk beberapa mikroba, melindungi mereka dari kompetisi dan predasi.

Kelimpahan mikroba, keanekaragaman dan aktivitas sangat dipengaruhi oleh pH. Kapasitas penyangga (yaitu, kemampuan larutan tanah untuk menahan perubahan pH) yang diberikan oleh biochar dan kapasitas tukar kation dapat membantu menjaga kondisi pH yang tepat dan meminimalkan fluktuasi pH dalam habitat mikro di dalam partikel biochar.

Biochar relatif stabil dan memiliki waktu tinggal tanah yang lama, yang menunjukkan bahwa biochar bukan substrat yang baik (makanan) bagi biota tanah. Namun, biochar baru yang ditambahkan ke tanah dapat mengandung substrat yang cocok untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi produksi, beberapa biochar mungkin berisi minyak organik atau senyawa organik recondensed yang dapat mendukung pertumbuhan dan reproduksi kelompok mikroba tertentu. Implikasi dari ini adalah bahwa komunitas mikroba dalam biochar akan berubah dari waktu setelah telah ditambahkan ke tanah. Selain itu, mungkin ada perubahan seiring dalam kisaran peran ekologi dan

layanan yang diberikan oleh komunitas yang berurutan. Ini mungkin menjadi jasa ekosistem yang bermanfaat untuk pertanian, seperti siklus hara atau mineralisasi bahan organik, mengembangkan dari waktu ke waktu.



Gambar 1. Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam) (Dari Lehman *et al.*, 2011)

2.6. Impact Biochar Dalam Tanah

Biochar memiliki potensi besar untuk perbaikan tanah karena fisik, kimia, dan biologi yang unik dan interaksinya dengan tanah dan tanaman. Jika digunakan sebagai amandemen tanah, biochar dapat mengurangi dampak negatif yang mungkin timbul. Sementara penambahan biochar sebagian besar telah menunjukkan pengaruh yang netral, positif, atau negatif (ditinjau oleh Sohi *et al.*, 2010). Ini menunjukkan perlunya pemahaman yang komprehensif asal biochar, produksi, dan sifat fungsional.

Manfaat dari sifat fisik biochar timbul pada tanah. Sifat biochar yang sangat berpori hasil dari mempertahankan struktur dinding sel dari bahan baku biomassa. Berbagai macam ukuran pori biochar dalam area permukaan besar dan bobot isi rendah. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.* 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya, dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007). Biochar

memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah dari $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi total keseluruhan bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman (Brady dan Weil 2004).

Peningkatan luas permukaan, porositas, dan bobot isi rendah dalam tanah mineral dengan biochar dapat mengubah retensi air, agregasi, dan penurunan erosi tanah (Piccolo dan Mbagwu 1990, Piccolo *et al.*, 1996; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Retensi air tanah ditentukan oleh distribusi dan konektivitas dari pori-pori dalam matriks tanah, yang sebagian besar dipengaruhi oleh tekstur tanah, agregasi, dan kandungan bahan organik tanah (Brady dan Weil, 2004). Biochar memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dan porositas lebih besar relatif terhadap jenis lain bahan organik tanah, dan karena itu dapat memperbaiki tekstur tanah dan agregasi, yang meningkatkan retensi air dalam tanah. Ini mulai sifat fisik biochar terjadi pada berbagai skala dan mempengaruhi proporsi air daripada yang dapat dipertahankan. Kishimoto dan Sugiura (1985) memperkirakan luas permukaan bagian dalam dari charcoal terbentuk antara 400 dan 1000°C berkisar $200\text{-}400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Van Zwieten *et al.* (2009) melaporkan luas permukaan biochar yang berasal dari limbah pabrik kertas dengan pirolisis lambat menjadi $115 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sifat ini dapat saja berubah dari waktu ke waktu dengan pelapukan fisik, tetapi belum secara eksplisit meneliti sehingga mengakibatkan ketidakpastian yang terkait perubahan fisik yang bermanfaat dalam tanah.

Peningkatan retensi kelembaban akibat tidak langsung dari perubahan dalam agregasi dan struktur tanah setelah aplikasi biochar (Brodowski *et al.*, 2006). Biochar dapat mempengaruhi agregasi tanah melalui interaksi dengan karbon organik tanah, mineral, dan mikroorganisme, namun karakteristik muatan permukaan dan perkembangan dari waktu ke waktu menentukan agregasi tanah pada efek jangka panjang. Glaser *et al.* (2002) melaporkan bahwa Anthrosol yang diperkaya dengan arang memiliki area permukaan tiga kali lebih tinggi dibandingkan Oxisol, dan memiliki peningkatan kapasitas lapang 18%. Tryon (1948) mempelajari efek dari arang pada persentase kelembaban yang tersedia di

tanah tekstur yang berbeda dan menemukan respon yang berbeda diantara tanah. Pada tanah berpasir, penambahan arang meningkat kelembaban yang tersedia sebesar 18% setelah menambahkan 45% biochar (volume), sementara tidak ada perubahan yang diamati dalam tanah liat, dan kelembaban tersedia tanah menurun di tanah liat. Luas permukaan tinggi biochar dapat menyebabkan retensi air meningkat, meskipun efek tampaknya tergantung pada tekstur tanah awal. Peningkatan daya ikat air dengan penambahan biochar ini paling sering diamati pada tanah berpasir (Gaskin *et al.*, 2007; Glaser *et al.*, 2002). Dampak dari penambahan biochar pada kadar air mungkin karena peningkatan luas permukaan relatif dengan yang ditemukan dalam tanah bertekstur kasar (Glaser *et al.*, 2002). Oleh karena itu, perbaikan dalam retensi air tanah dengan penambahan biochar hanya dapat diharapkan dalam tanah bertekstur kasar atau tanah dengan pori-pori makro dalam jumlah besar. Selain itu, sejumlah besar biochar perlu diaplikasikan ke tanah sebelum meningkatkan retensi air. Biochar memiliki potensi untuk meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Lehmann *et al.*, 2003). Ketersediaan hara dapat dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas tukar kation, perubahan pH tanah, ataupun langsung kontribusi nutrisi dari biochar. Salah satu mekanisme potensial untuk peningkatan retensi hara dan pasokan hara setelah amandemen biochar. KTK meningkat hingga 50% dibandingkan dengan tanah yang tidak diamendemen (Lehmann, 2003; Liang, 2006; Tryon 1948, Mbagwu dan Piccolo 1997). Biochar memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyerap dan mempertahankan kation dalam bentuk tukar daripada bentuk-bentuk lain dari bahan organik tanah karena luas permukaan yang lebih besar, serta muatan negatif permukaan (Liang *et al.*, 2006). Penelitian telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam ketersediaan semua kation utama (Glaser *et al.*, 2002; Topoliantz *et al.*, 2005; Lehmann, 2003). Tryon (1948) menemukan peningkatan jumlah kation basis di tanah liat berpasir dan setelah menambahkan 45% arang kayu konifer. Selain itu, biochar yang baru diproduksi memiliki kapasitas pertukaran anion. Cheng *et al.* (2008) menemukan biochar menunjukkan kapasitas pertukaran anion pada pH 3,5 yang turun menjadi nol dari waktu ke waktu karena umur dalam tanah.

Biochar memiliki afinitas penyerapan tinggi untuk berbagai senyawa

organik dan anorganik dan kemampuan retensi hara tinggi dibandingkan dengan bentuk lain dari bahan organik tanah (Bucheli dan Gustafsson 2000, 2003; Allen-King *et al.*, 2002; Kleineidam *et al.*, 2002; Nguyen *et al.*, 2004). Setelah ditambahkan ke dalam tanah, oksidasi permukaan abiotik dan biotik biochar yang akan meningkatkan gugus karboksil permukaan, muatan negatif yang lebih besar, dan kemudian meningkatkan kemampuan untuk menyerap kation (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006). Hal ini juga menunjukkan kemampuan untuk penyerapan senyawa polar termasuk banyak kontaminan lingkungan (Yu *et al.*, 2006). Kapasitas tukar kation biochar sangat bervariasi tergantung pada kondisi pirolisis di mana ia diproduksi. Kapasitas tukar kation lebih rendah pada suhu pirolisis rendah dan secara signifikan meningkat ketika diproduksi pada suhu tinggi (Lehmann, 2007). Biochar baru diproduksi memiliki sedikit kemampuan untuk mempertahankan kation sehingga KTK minimal (Cheng *et al.*, 2006, 2008; Lehmann, 2007), tetapi meningkat dengan waktu dalam tanah dengan oksidasi permukaan (Cheng *et al.* 2006.). Ini mendukung temuan KTK tinggi diamati pada Anthrosol Amazon (Liang *et al.*, 2006).

Biochar dapat berfungsi sebagai agen pengapuran sehingga pH meningkat dan ketersediaan nutrisi untuk sejumlah jenis tanah yang berbeda (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann dan Rondon 2006). Konsentrasi karbonat biochar memfasilitasi pengapuran dalam tanah dan dapat meningkatkan pH tanah, baik tanah netral atau asam (Van Zweiten *et al.*, 2007). Mbagwu dan Piccolo (1997) melaporkan pH berbagai tekstur tanah meningkat pH hingga 1,2 unit dari pH 5,4-6,6. Tryon (1948) melaporkan peningkatan yang lebih besar dalam pH di tanah liat berpasir daripada di tanah bertekstur liat. pH tanah berbagai meningkat setelah aplikasi arang kayu (pH 6.15) daripada konifer arang (pH 5.15) mungkin karena kandungan abu yang berbeda masing-masing 6,38% dan 1,48% (Glaser *et al.*, 2002).

Bahan baku biochar dan kondisi pirolisis sebagian besar menentukan konsentrasi karbonat yang dihasilkan, membuat beberapa biochar agen pengapuran yang lebih baik daripada yang lain. Konsentrasi karbonat dapat bervariasi 0,5-33% (Chan *et al.*, 2007) tergantung pada kondisi awal. Arang kayu dilaporkan memiliki konsentrasi karbonat besar dan terbukti lebih efektif

dalam mengurangi keasaman tanah, sehingga memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kesuburan tanah (Steiner, 2007). Pengapuran tanah asam menurunkan kejenuhan Al, sementara meningkatkan kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa. (Cochrane dan Sanchez, 1980; Mbagwu dan Piccolo 1997; Fisher dan Binkely 2000). Selain itu, sebenarnya ketersediaan hara meningkat melebihi jumlah yang diantisipasi oleh pertukaran kation sendiri sebagai akibat dari garam larut yang tersedia di biochar tersebut.

Efek pengapuran terkait dengan biochar mungkin tidak cocok untuk semua jenis tanah dan tanaman. Peningkatan pH tanah terkait dengan penambahan biochar telah menyebabkan defisiensi mikronutrien pada tanaman pertanian (Kishimoto dan Sugiura 1985) dan vegetasi hutan (Mikan dan Abrams 1995), sehingga penting untuk mengakui keberadaan vegetasi calcifuge sebelum aplikasi. Selain itu, banyak tanaman hutan, jamur dan bakteri berkembang di tanah pH rendah (Meurisse, 1976; Meurisse, 1985), sehingga mengubah pH tanah hutan melalui penambahan biochar dapat mengakibatkan pergeseran yang tidak menguntungkan di atas dan di bawah pertumbuhan. Memahami interaksi antara produksi biochar dan kondisi aplikasi, tekstur tanah, bahan organik, dan pH tanah akan menjadi faktor kunci dalam menentukan efek jangka panjang dari aplikasi biochar pada tanah hutan.

Dalam jangka pendek, biochar dapat menyediakan sumber nutrisi tersedia bagi tanaman sekali diterapkan pada tanah (Gaskin *et al.*, 2008; Sohi *et al.*, 2010). Sebagian kecil dari nutrisi dalam bahan baku, selain dari N, tetap tertahan di biochar dalam bentuk yang diekstrak. Tidak pasti apakah nutrisi larut dilepaskan seketika setelah ditambahkan ke lingkungan tanah, atau dilepaskan dari waktu ke waktu (Sohi *et al.* 2010), tapi kemungkinan akan tergantung pada sifat fisik tanah awal. Pengenalan cepat nutrisi yang mudah tersedia dan sejumlah kecil C labil dipertahankan dalam biochar bisa menyebabkan mineralisasi bahan organik tanah (Wardle *et al.* 2008a), terutama di lingkungan nutrisi terbatas. Selain itu, biochar alkali dapat meningkatkan pH tanah asam dan kemudian merangsang aktivitas mikroba sehingga lebih meningkatkan mineralisasi atau dekomposisi bahan organik tanah yang ada.

Sifat biochar dapat meningkatkan komunitas mikroba tanah dan

menciptakan lingkungan mikro yang mendorong kolonisasi mikroba. Biochar memiliki pori-pori dan luas permukaan internal tinggi, dan peningkatan kemampuan untuk menyerap bahan organik menyediakan habitat yang cocok untuk mendukung mikrobiota tanah yang mengkatalisasi proses yang mengurangi kehilangan N dan meningkatkan ketersediaan hara atau tanaman (Winsley, 2007). Pori-pori sebagai tempat berlindung dengan melindungi mikroba dari predasi dan pengeringan sementara bahan organik teradsorpsi ke biochar menyediakan energi C dan persyaratan nutrisi mineral (Warnock *et al.*, 2007; Saito dan Muramoto, 2002). Dalam ekosistem sedang dengan aplikasi biochar, mineralisasi N dan nitrifikasi ditingkatkan (Berglund *et al.*, 2004; Gundale dan DeLuca, 2007) dengan menciptakan lingkungan mikro yang menguntungkan yang meningkatkan kolonisasi oleh mikroba (Warnock *et al.*, 2007; Pietikainen *et al.*, 2000). Jika aktivitas mikroba mampu mengoksidasi biochar, kita perlu tahu mikroba mana dapat mencapai hal ini, mekanisme yang terjadi, dan dalam kondisi apa dan pada tingkat apa ini akan berlangsung.

Bukti pendukung peningkatan kelimpahan mikroba dan penumpukan C stabil dalam tanah berasal dari arang yang mengubah Anthrosol. Sementara banyak penelitian menyarankan penambahan biochar yang bermanfaat untuk meningkatkan aktivitas mikroba dan meningkatkan penyimpanan C, yang lain telah melaporkan dekomposisi bahan organik tanah dipercepat (priming) setelah penambahan biochar segar (arang). Liang *et al.* (2010) melaporkan stabilisasi bahan organik tinggi ditambahkan ke tanah dari lingkungan tropis yang mengandung arang tua. Mereka melaporkan mineralisasi bahan organik kurang lebih 25,5% pada Anthrosol dibandingkan dengan Oxisol yang berdekatan yang tidak diamendemen. Sedangkan arang mengubah Anthrosol memiliki lebih dari dua kali jumlah biomassa mikroba dari tanah yang berdekatan, respirasi karbon dioksida (CO₂) lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang berdekatan yang tidak diamendemen. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa mikroba terkait dengan penambahan arang memiliki efisiensi metabolisme yang lebih tinggi (Liang *et al.* 2010). Temuan serupa mendukung proliferasi mikroba dan penurunan respirasi tanah telah dilaporkan dalam tanah mineral yang berubah dengan tingkat bervariasi biochar jagung (Jin *et al.*, 2008). Sebaliknya, potensi

biochar untuk menyebabkan atau mempercepat dekomposisi bahan organik (humus) permukaan tanah telah dilaporkan dalam studi 10 tahun dari kantong sampah di zona boreal (Wardle *et al.*, 2008a), di mana kerugian humus lebih cepat ditunjukkan pada arang. Demikian pula, Steinbeiss *et al.* (2009) menunjukkan bahwa biochar homogen dengan atau tanpa N bisa merangsang hilangnya C organik tanah (antara 8-13%) dalam tanah pertanian dan hutan. Ada juga bukti yang menunjukkan bahwa ketersediaan N tanah adalah faktor pengendali untuk efek priming char (DeLuca *et al.*, 2006; Gundale dan DeLuca, 2006; Neff *et al.*, 2002). Apakah aplikasi biochar menstabilkan bahan organik tanah atau hasil dalam priming masih dalam spekulasi dan sebagai saran penelitian lebih lanjut (Sohi *et al.*, 2010; Lehmann dan Sohi, 2008; Wardle *et al.*, 2008a; Wardle *et al.*, 2008b).

Chan *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa perubahan kimia dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa penambahan biochar ke tanah meningkatkan jumlah C (Van Zwieten *et al.*, 2010), N total, pH, KTK, P tersedia, dan kation tukar (misalnya Ca, Mg, Na, dan K) dalam tanah (Chan *et al.* 2008). Demikian pula, Mayor *et al.* (2010b) menemukan bahwa penambahan biochar meningkatkan Ca dan Mg tersedia, serta pH di dalam tanah. Chan *et al.* (2007) melaporkan bahwa penambahan biochar dari limbah hijau (campuran potongan rumput, sampah, dan pemangkasan tanaman) ke tanah mengakibatkan peningkatan karbon organik, Na, K, dan Ca, P diekstrak, dan penurunan tersedia Al dalam tanah. Umumnya, perubahan pada karakteristik tanah yang sebanding dengan jumlah biochar yang diterapkan (Chan *et al.*, 2007).

Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik yang tersedia melimpah. Kinoshita (2001) menyatakan bahwa biochar adalah padatan berpori hasil karbonisasi bahan-bahan mengandung karbon. Umumnya struktur arang berupa karbon amorf, yang tersusun dari karbon-karbon bebas berikatan kovalen membentuk struktur heksagonal datar (Puziy *et al.*, 2003). Kualitas biochar sangat tergantung pada sifat kimia dan fisik biochar yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur), dan bentuk biochar (padat, serbuk, karbon aktif) (Ogawa, 2006). Widowati *et al.*,

2014 melaporkan ada interaksi antara jenis dan dosis biochar pada pencucian N dan K dan produksi biomasa jagung. Biochar mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh Topoliantz *et al.* (2005).

Biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation. Afinitas yang tinggi sangat membantu dalam menyelesaikan masalah polusi tanah dan air karena penggunaan berbagai bahan kimia pertanian yang berlebihan. Di samping itu, biochar merupakan senyawa karbon yang relatif stabil, jauh lebih stabil dari senyawa organik yang tidak diarsir (Badlock dan Smernik, 2002). Kedua karakteristik ini telah melahirkan gagasan bahwa biochar akan sangat bermanfaat untuk mengurangi laju degradasi tanah, sehingga kesinambungan produksi pangan dapat dijamin. Hasil penelitian pada tanah lempung berdebu telah menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanaman jagung musim tanam pertama telah menghasilkan jagung yang relatif sama selama tiga musim tanam meskipun tidak menambahkan pupuk P dan K pada musim kedua dan ketiga (Widowati *et al.*, 2013) dan mengurangi pencucian nitrat dan kalium (Widowati *et al.*, 2012). Penerapan biochar dapat menghambat transformasi N-NH₄ menjadi N-NO₃. Setelah 28 hari inkubasi, ada 60 mg kg⁻¹ N-NH₄ (biochar pupuk kandang ayam) dan 52 mg kg⁻¹ (biochar sampah organik) dibandingkan dengan 40 mg kg⁻¹ N-NH₄ (pupuk kandang ayam) dan 12 mg kg⁻¹ N-NH₄ (kontrol). Hilangnya nitrogen karena pencucian dari tanah yang diberi dengan biochar adalah 470 - 510 mg, sedangkan dari tanah yang tidak diberi biochar 641 mg (Widowati *et al.*, 2011).

Biochar lebih stabil dari yang lainnya dan ketersediaan hara meningkat melebihi efek pupuk (Lehmann, 2009), tetapi sifat dasar stabilitas dan kapasitas nutrisi lebih efektif dibandingkan dengan bahan organik lain di dalam tanah. Kemampuan ini karena sifat kimia dan sifat fisik yang spesifik, seperti kepadatan tinggi (Liang *et al.*, 2006), yang menghasilkan retensi hara yang jauh lebih besar, dan dalam kombinasi dengan struktur kimia yang spesifik (Baldock dan Smernik,

2002) yang menyediakan jauh lebih besar ketahanan terhadap pembusukan mikroba dari bahan organik tanah lainnya (Cheng *et al.*, 2008). Pada tanah alkalin, biochar dapat meningkatkan P tersedia karena reaktivitas P meningkat dan membentuk senyawa tidak larut dengan Ca (DeLuca *et al.*, 2009). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisika dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002 dan Chan *et al.*, 2007). Penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). Steiner *et al.* (2008) telah melaporkan adanya peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen pada tanah yang mengandung biochar. Perbaikan struktur tanah, peningkatan kapasitas penyimpanan air tanah dan penurunan kekuatan tanah telah dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007) yang melakukan penelitian pada tanah yang mudah mengeras di Australia. Pengaruh positif biochar terhadap kesuburan biologi tanah terjadi melalui peningkatan aktivitas jasad mikro tanah sehingga dapat meningkatkan komposisi dan biomassa jasad mikro tanah (Steiner *et al.*, 2008). Lehmann dan Rondon (2006) melaporkan bahwa hasil tanaman meningkat dengan meningkatnya aplikasi biochar hingga 140 Mg C/ha (namun tingkat hasil maksimal belum tercapai) pada tanah di daerah tropis lembab. Rondon *et al.* (2004) menyatakan bahwa pertumbuhan biomassa (*Phaseolus vulgaris* L.) meningkat dengan aplikasi biochar sampai dengan 60 Mg C ha⁻¹ tetapi menurun dengan nilai yang sama seperti untuk perlakuan kontrol saat aplikasi biochar ditingkatkan menjadi 90 Mg C ha⁻¹ (walaupun hasil kacang masih meningkat). Lehmann dan Rondon (2006) menyimpulkan bahwa tanaman memberikan respon positif hingga biochar dosis 50 Mg C ha⁻¹. Menurut Widowati *et al.* (2015), hasil jagung tertinggi pada biochar sekam padi 30 t ha⁻¹.

Biochar meningkatkan porositas tanah dan kapasitas penyangga kelembaban yang menghasilkan pertumbuhan tanaman dan akar yang lebih baik (Khishimoto dan Sigiura, 1985). Hasil penelitian Yamato *et al.* (2006) menunjukkan bahwa penggunaan biochar dari kayu accasia dapat meningkatkan hasil tanaman jagung, kacang tunggak dan kacang tanah. Penggunaan biochar dari bahan limbah hasil pertanian telah terbukti, di samping meningkatkan hasil tanaman wortel, juga meningkatkan kandungan N (Chan *et al.*, 2007). Residu

biochar secara mandiri maupun dikombinasi dengan pupuk K berbagai dosis dapat meningkatkan hasil jagung pada musim tanam kedua. Residu biochar meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Na⁺ di dalam tanah setelah musim tanam jagung kedua (Widowati *et al.*, 2017).

2.7. Jenis tanah

Litosol. Dalam USDA, litosol termasuk dalam ordo Entisol, sama dengan tanah regosol. Jenis tanah yang berbatu-batu dengan lapisan tanah yang tidak terlalu tebal. Litosol merupakan tanah muda yang berasal dari pelapukan batuan yang keras dan besar serta miskin unsur hara sehingga bukan tanah yang subur dan tidak banyak tanaman yang bisa ditanam pada tanah litosol.

Proses terbentuknya tanah litosol dari pelapukan batuan beku dan sedimen yang masih baru (belum sempurna) sehingga butiran besar/kasar. Jenis tanah ini juga disebut tanah azonal. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm) bahkan kadang-kadang merupakan singkapan batuan induk (outcrop). Tekstur tanah beranekaragam, dan pada umumnya berpasir, umumnya tidak berstruktur, terdapat kandungan batu, kerikil dan kesuburannya bervariasi. Tanah litosol dapat dijumpai pada segala iklim, umumnya di topografi berbukit, pegunungan, lereng miring sampai curam.

Pemanfaatan tanah litosol di Indonesia masih kurang maksimal. Tanah litosol tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah yang lainnya. Bahkan ada di daerah tertentu yang menjadikan tanah litosol ini hanya untuk lahan kosong yang dibiarkan untuk ditumbuhi rerumputan. Selain itu tanah litosol memiliki karakteristik belum terbentuk akibat pelapukan, mempunyai penampang yang besar, berbentuk kerikil, pasir, dan bebatuan kecil, mengalami perubahan struktur atau profil dari batuan asal, mempunyai kandungan unsur hara rendah, terbentuk dari proses meletusnya gunung berapi, memiliki tekstur tanah yang bervariasi, memiliki kesuburan tanah yang bervariasi. Untuk mengembangkan tanah ini harus dilakukan dengan cara menanam pohon supaya mendapatkan mineral dan unsur hara yang cukup. tekstur tanah litosol bermacam-macam ada yang lembut, bebatuan bahkan berpasir (Ilmu Geografi.com, 2016).

Di sebagian daerah, tanah litosol hanya digunakan sebagai lahan menanam rumput saja. Hal ini karena rumput-rumputan merupakan tumbuhan yang mampu bertahan hidup pada tanah yang kurang subur. Tanaman yang dapat tumbuh di tanah litosol adalah rumput ternak, palawija, dan tanaman keras. Jenis tanah ini banyak ditemukan di lereng gunung dan pegunungan di seluruh Indonesia yang mengalami proses erosi parah. Litosol terdapat di wilayah yang tersusun dari batuan kuarsit, konglomerat, granit, dan batu lapis. Jenis tanah ini juga dapat dijumpai di daerah sekitar pantai.

Mediteran. Tanah yang termasuk ordo Alfisol merupakan hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen. Disebut juga dengan tanah kapur karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur yang memiliki unsur hara dalam jumlah yang sedikit sehingga tanah jenis ini tidak subur dan sangat mudah dilalui air. Tanah ini hanya berkontribusi sedikit dalam bidang pertanian, mengandung kalsium dan magnesium yang tinggi.

Tanah mediteran banyak terdapat di bawah tanaman hutan dengan karakteristik tanah, meliputi: akumulasi lempung pada horizon Bt, horizon E yang tipis, mampu menyediakan dan menampung banyak air, dan bersifat asam. Tanah mediteran mempunyai tekstur lempung dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat (Graha, 2015). Tanah-tanah yang terdapat penimbunan liat di horizon bawah (terdapat horizon argilik) dan mempunyai kejenuhan basa tinggi yaitu lebih dari 35% pada kedalaman 180 cm dari permukaan tanah. Liat yang tertimbun di horizon bawah ini berasal dari horizon di atasnya dan tercuci kebawah bersama dengan gerakan air.

Tanah mediteran yang berbahan induk batu kapur mempunyai nilai pH yang lebih tinggi dibanding dari yang berbahan induk batu pasir. pH tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan induk tanah, pengendapan, vegetasi alami, pertumbuhan tanaman, kedalaman tanah dan pupuk nitrogen. Masalah utama dari jenis tanah mediteran adalah ketersediaan air dan tingginya pH tanah yang seringkali di atas 7. Tanah yang bersifat alkalis mengikat fosfat sehingga akan menjadi kendala bagi tanaman untuk tumbuh.

Tanah mediteran memiliki kandungan karbonat yang cukup besar sehingga tanah ini bisa berwarna merah kekuningan maupun abu-abu. Selain karbonat juga

ada mengandung besi, air, alumunium, dan beberapa bahan organik lain yang membuat tanah menjadi agak subur. Biasanya tanah mediteran digunakan untuk lahan pertanian khususnya menanam padi sawah.

Sifat fisik tanah mediteran merah kuning memiliki tekstur tanah bervariasi mulai dari geluh hingga lempung. Struktur ini beraneka ragam ukurannya ada yang kecil ada juga yang besar tergantung bahan organik pengikatnya. Konsistensi tanah mediteran merah kuning ini bervariasi mulai dari gembur hingga teguh. Ini merupakan konsistenssi pada tanah lembab, pada umumnya konsistensi lembab ini terjadi pada tanah yang relatif lapang.

Regosol. Regosol termasuk ordo entisol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Tanah belum mengalami perkembangan yang sempurna dan hanya memiliki horizon A yang marginal. Iklim yang sangat ekstrim basah atau kering, sehingga perombakan bahan induk terhambat. Adanya faktor erosi yang selalu menggerus epipedon, sehingga tidak pernah terbentuk horison iluviasi Terbentuk dibawah pengaruh iklim kering dengan bahan induk didominasi mineral kuarsa yang sangat resisten terhadap pelapukan. Reaksi-reaksi kimia dalam tanah berlangsung sangat lambat dan cenderung miskin hara. Umur tanah masih muda dengan bahan organik yang rendah sehingga tidak dapat menampung air dan mineral yang mendukung pertumbuhan tanaman (Meftah, 2013). Selain itu regosol merupakan salah satu jenis tanah marjinal di daerah beriklim tropika basah yang mempunyai produktivitas rendah tetapi masih dapat dikelola dan digunakan untuk usaha pertanian. Tanah regosol memiliki ciri-ciri: berbutir kasar, berwarna kelabu sampai kuning.

Tanah regosol sangat cocok untuk pertanian khususnya tanaman padi, kelapa, tebu, palawija, tembakau, dan sayuran. Hal inilah yang menyebabkan tanah di lereng gunung berapi yang baru saja mengalami erupsi sangat subur dan sangat baik untuk pertanian. Tanah regosol terjadi akibat adanya erupsi gunung berapi yang terjadi bertahun-tahun sebelumnya

Tanah regosol memiliki tekstur tanah biasanya kasar, struktur lemah, konsentrasi lepas sampai gembur dan pH 6-7. Makin tua umur tanah, struktur dan konsentrasinya padat, bahkan seringkali membentuk padas dengan drainase dan

porositas terhambat. Umumnya jenis tanah ini belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi, cukup mengandung unsur P dan K yang masih segar dan belum tersedia untuk diserap tanaman dan kandungan N rendah. Kendala utama pada regosol adalah keterbatasan air karena tekstur tanah dan rendahnya bahan organik tanah sehingga menyebabkan daya simpan tanah terhadap air menjadi rendah dan kesuburan tanah juga rendah.

2.8. Lahan Kering

Menurut FAO (2008) lahan kering adalah daerah mencakup yang diklasifikasikan dengan arid (masa pertanaman 1-59 hari), semi arid (masa pertanaman 60-119 hari) dan arid basah (masa pertanaman 120-179 hari). Dengan demikian lahan kering adalah pertanian dengan masa pertanaman 1-179 hari dan tidak memiliki fasilitas pengairan. Sawah tadah hujan juga tidak termasuk dalam lahan kering. Menurut Satari (1977), lahan yang dalam keadaan alamiah, lapisan atas dan bawah tubuh tanah (*top soil* dan *sub soil*) sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada dibawah kapasitas lapang. Muljadi (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang hampir sepanjang tahun tidak tergenang secara permanen. Ahli tanah Indonesia memberikan batasan lahan kering adalah lahan dimana kebutuhan air tanaman tergantung sepenuhnya air hujan dan tidak pernah tergenang secara tetap. Berdasarkan ketersediaan air untuk lahan pertanian, maka lahan budidaya pertanian dibedakan menjadi lahan basah (sawah) dan lahan kering (ladang). Lahan basah atau sawah seringkali diterjemakan sebagai wet land atau low land, sedangkan lahan kering atau ladang diterjemahkan sebagai dry land atau up land. Lahan kering sendiri diartikan sebagai sebidang lahan yang mempunyai keterbatasan sumber air sepanjang tahun dan tidak pernah dalam keadaan tergenang. Akibat keterbatasan air maka kandungan lengas tanah selalu berada di bawah kadar air kapasitas lapangan. Selain itu perbandingan jumlah curah hujan yang tidak dapat diimbangi dengan kebutuhan air untuk evaporasi dan transpirasi sepanjang tahun seringkali juga digunakan sebagai penjelasan istilah lahan kering.

Potensi Lahan Kering. Lahan kering merupakan salah satu agroekosistem yang mempunyai potensi besar untuk usaha pertanian, baik tanaman

pangan, hortikultura (sayuran dan buah-buahan) maupun tanaman tahunan dan peternakan. Berdasarkan arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia skala 1:1.000.000 (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2001), Indonesia memiliki daratan sekitar 188,20 juta ha terdiri atas 148 juta ha lahan kering (78%) dan 40,20 juta ha lahan basah (22%). Namun tidak semua lahan kering sesuai untuk pertanian, terutama karena adanya faktor pembatas tanah seperti lereng yang sangat curam atau solum tanah dangkal dan berbatu, atau termasuk kawasan hutan. Dari total luas 148 juta ha, lahan kering yang sesuai untuk budidaya pertanian hanya sekitar 76,22 juta ha (52%), sebagian besar terdapat di dataran rendah (70,71 juta ha atau 93%) dan sisanya di dataran tinggi. Di wilayah dataran rendah, lahan datar bergelombang (lereng < 15 %) yang sesuai untuk pertanian tanaman pangan mencakup 23,26 juta ha. Lahan dengan lereng 15-30 % lebih sesuai untuk tanaman tahunan (47,45 juta ha). Di dataran tinggi, lahan yang sesuai untuk tanaman pangan hanya sekitar 2,07 juta ha, dan untuk tanaman tahunan 3,44 juta ha.

Kondisi luas lahan pertanian di Indonesia (lahan kering dan basah) di Indonesia 59,7 juta Ha sedang di Jawa 9,6 juta Ha. Luas lahan kering di Indonesia 51,7 juta Ha, sedang di Jawa 6,1 juta Ha. Hal ini berarti lahan pertanian berupa lahan kering di Indonesia adalah 86,24 %, sedang di Jawa lahan pertanian berupa lahan kering 63,54%. Potensi lahan kering ini prospek ke depan menjadi tumpuhan untuk penyediaan lahan di Indonesia.

Kabupaten Malang sebagian bagian kecil dari wilayah Jawa Timur di Indonesia, penataan dan penggunaan wilayah dikembangkan melalui perencanaan dengan ditetapkan melalui Peraturan Daerah tentang RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) PP. No.41/2010. Wilayah Kabupaten Malang dikelompokkan menjadi kawasan pertanian sawah, kawasan tegalan (tanah ladang), kawasan pengelolaan lahan kering, kawasan perkebunan, kawasan hortikultura, kawasan peternakan dan kawasan perikanan. Kawasan tegalan (tanah ladang) pengusaha pertanian mengandalkan air hujan (tadah hujan) seluas 113.582,12 ha atau 32,73% dari luas daerah Kabupaten Malang. Upaya pengelolaan kawasan tegalan meliputi (a) kawasan pertanian lahan kering secara fisik dikembangkan tanaman tahunan dengan dukungan pola tanam tumpangsari palawija dengan hortikultura, (b)

pengembangan perkebunan skala kecil, dan (c) dukungan pengembangan ekonomi memungkinkan alih fungsi lahan menjadi area terbangun. Lebih lanjut kasawan pengelolaan lahan kering diarahkan melalui (a) pengembangan palawija dan hortikultura dengan mengutamakan komoditas tanaman yang bernilai ekonomi tinggi dan adaptasi lingkungan dan (b) kawasan ini guna mendukung pengembangan ekonomi pedesaan sehingga alih fungsi lahan pada beberapa area mempunyai nilai tambah pada perkembangan ekonomi pedesaan

Kendala Lahan Kering. Pada umumnya lahan kering memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah, terutama pada tanah-tanah yang tererosi, sehingga lapisan olah dan kadar bahan organik rendah. Kondisi ini makin diperburuk dengan terbatasnya penggunaan pupuk organik, terutama pada tanaman pangan semusim. Di samping itu, secara alami kadar bahan organik tanah di daerah tropis cepat menurun akibat intensitas radiasi dan temperatur yang tinggi, penurunan dapat mencapai 30-60% dalam waktu 10 tahun (Brown dan Lugo 1990 dalam Suriadikarta *et al.*, 2002). Bahan organik memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah. Meskipun kontribusi unsur hara dari bahan organik tanah relatif rendah, peranannya cukup penting karena selain unsur NPK, bahan organik juga merupakan sumber unsur esensial lain seperti C, Zn, Cu, Mo, Ca, Mg, dan Si (Suriadikarta *et al.*, 2002).

Dari luas total lahan kering Indonesia sekitar 148 juta ha, 102,80 juta ha (69,46%) merupakan tanah masam (Mulyani *et al.*, 2004). Tanah tersebut didominasi oleh Inceptisols, Ultisols dan Oxisols, dan sebagian besar terdapat di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Lahan kering masam diwilayah berbukit dan bergunung cukup luas, mencapai 53,50 juta ha atau 52% dari total tanah masam di Indonesia. Tanah masam dicirikan oleh pH rendah (<5,50), kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat tukar dan KTK rendah, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik (Adiningsih dan Sudjadi 1993, Soepardi 2001).

Di Indonesia, lahan kering sebagian besar terdapat di wilayah bergunung (> 30%) dan berbukit (15-30%), dengan luas masing-masing 51,30 juta ha dan 36,90 juta ha (Hidayat dan Mulyani 2002). Lahan kering berlereng curam sangat peka terhadap erosi, terutama bila diusahakan untuk tanaman pangan semusim dan

curah hujannya tinggi. Lahan semacam ini lebih sesuai untuk tanaman tahunan, namun kenyataannya banyak dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sedangkan perkebunan banyak diusahakan pada lahan datar bergelombang dengan lereng < 15%. Lahan kering yang telah dimanfaatkan untuk perkebunan mencakup 19,60 juta ha (Badan Pusat Statistik 2005), terutama untuk tanaman kelapa sawit, kelapa dan karet.

Keterbatasan air pada lahan kering mengakibatkan usahatani tidak dapat dilakukan sepanjang tahun, dengan indeks pertanaman (IP) kurang dari 1,50. Penyebabnya antara lain adalah distribusi dan pola hujan yang fluktuatif, baik secara spasial maupun temporal. Wilayah barat lebih basah dibandingkan dengan wilayah timur dan secara temporal terdapat perbedaan distribusi hujan pada musim hujan dan kemarau. Pada beberapa wilayah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, curah hujan melebihi 2.000 mm/tahun, sehingga IP dapat ditingkatkan menjadi 2-2,50 (Las *et al.*, 2000; Amien *et al.*, 2001).

Menurut Badan Pusat Statistik (2005), lahan pertanian Indonesia meliputi 70,20 juta ha, sekitar 61,53 juta ha diantaranya berupa lahan kering dengan produktivitas relatif rendah, jauh di bawah potensi hasil. Produktivitas padi gogo berkisar antara 2-3 t/ha, padahal potensinya dapat mencapai 4-5 t/ha (Sumarno dan Hidayat, 2007). Demikian juga komoditas lain, seperti kedelai, masih dapat ditingkatkan. Menurut Subandi (2007), peluang peningkatan produktivitas kedelai masih terbuka, karena hasil di tingkat petani (0,60-2 t/ha) masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan hasil di tingkat penelitian yang berkisar antara 1,70-3,20 t/ha.

Selain meningkatkan produktivitas lahan kering yang sudah ada (*existing*), produksi bahan pangan dapat pula ditingkatkan melalui perluasan areal tanam pada lahan kering. Dari 76,22 juta ha lahan kering yang sesuai untuk pertanian, lahan yang telah digunakan (tegalan, perkebunan, kayu-kayuan dan pekarangan) baru mencapai 47,76 juta ha, sehingga masih tersedia 28,46 juta ha lahan untuk perluasan areal pertanian, termasuk lahan terlantar 13,77 juta ha.

Pengelolaan kesuburan tanah tidak terbatas pada peningkatan kesuburan kimiawi, tetapi juga kesuburan fisik dan biologi tanah. Hal ini berarti bahwa pengelolaan kesuburan tanah tidak cukup dilakukan hanya dengan memberikan

pupuk saja, tetapi juga perlu disertai dengan pemeliharaan sifat fisik tanah sehingga tersedia lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanaman, kehidupan organisme tanah, dan untuk mendukung berbagai proses penting di dalam tanah.

Penerapan teknologi pemupukan organik juga sangat penting dalam pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk organik dapat bersumber dari sisa panen, pupuk kandang, kompos atau sumber bahan organik lainnya. Selain menyumbang hara yang tidak terdapat dalam pupuk anorganik, seperti unsur hara mikro, pupuk organik juga penting untuk memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lahan kering akan mampu menyediakan airdan hara yang cukup bagi tanaman bila struktur tanahnya baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi pemupukan.

Erosi bukan hanya mengangkut material tanah, tetapi juga hara dan bahan organik, baik yang terkandung di dalam tanah maupun yang berupa *input* pertanian. Erosi juga merusak sifat fisik tanah. Oleh karena itu, penerapan teknik konservasi merupakan salah satu prasyarat keberlanjutan usaha tani pada lahan kering. Target yang harus dicapai adalah menekan erosi sampai di bawah batas toleransi dengan kisaran antara 1,10-13,50 t/ha/tahun, bergantung pada sifat tanah dan substratnya (Thompson *dalam* Arsyad 2000). Untuk menekan erosi sampai di bawah ambang batas toleransinya, beberapa jenis teknik konservasi dapat diterapkan dengan memperhatikan persyaratan teknis (Agus et al., 1999). Teras bangku merupakan teknik konservasi yang banyak diterapkan di Jawa dan Bali. Teknik ini telah dikembangkan secara luas sejak tahun 1975 melalui inpres penghijauan (Siswomartono et al., 1990).

Pengaturan pola tanam dengan mengusahakan permukaan lahan selalu tertutup oleh vegetasi dan/atau sisa-sisa tanaman juga berperan penting dalam konservasi tanah. Pengaturan proporsi tanaman semusim dan tahunan pada lahan kering juga penting; makin curam lereng sebaiknya makin tinggi proporsi tanaman tahunan. Pengaturan jalur penanaman atau bedengan yang searah kontur juga berkontribusi dalam mencegah erosi.

Pengolahan tanah secara intensif merupakan penyebab penurunan produktivitas lahan kering. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan tanah yang berlebihan dapat merusak struktur tanah (Larson dan Osborne 1982;

Suwardjo et al. 1989) dan menyebabkan kekahatan bahan organik tanah (Rachman *et al.*, 2004).

Rehabilitasi lahan-lahan terdegradasi dapat mendukung optimalisasi lahan kering, antara lain dengan menanam legum penutup tanah atau tanaman penghasil bahan organik lainnya, khususnya yang bersifat insitu seperti *alley cropping* dan *strip cropping*. Penggunaan bahan pembenah tanah baik organik maupun mineral juga dapat merehabilitasi lahan terdegradasi.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT

3.1. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan karakterisasi biochar-pupuk organik dari jenis biomasa.
2. Menentukan waktu inkubasi terbaik untuk meningkatkan bahan organik tanah yang akan mempengaruhi kesuburan tanah dari agroekosistem lahan kering.
3. Mengkaji perubahan unsur hara dan sifat-sifat tanah dari berbagai jenis biochar-pupuk organik dan jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.

3.2. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang karakteristik biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung, sekam padi, dan limbah industri tembakau (jengkok).
2. Membantu untuk manajemen tanah yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda sehingga mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapan biochar dan pupuk organik.
3. Memberikan informasi tentang perubahan bahan organik tanah setelah aplikasi biochar pada beberapa jenis tanah.
4. Memberi informasi tentang kontribusi unsur hara dari jenis biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah.
5. Memberi informasi tentang penggunaan jenis biochar-pupuk organik untuk meningkatkan sifat-sifat tanah dari beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.
6. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan produktivitas lahan kering pada beberapa jenis tanah.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Produksi biochar

Penelitian diawali dengan memproduksi biochar dari jenis biomasa (sekam padi, dan tongkol jagung) dalam reaktor baja pada suhu 350 – 500⁰C selama 4 jam di Laboratorium Bioenergi Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, Biochar tersebut diproduksi dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan sistem separator yang tersambung dengan kondensor. Biochar jengkok tembakau diproduksi pada suhu 700⁰C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis extrusion Etia. Bahan baku sekam padi kering dari penggilingan padi komersial yang memproses beras dan tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling untuk < 2 mm, biochar jengkok tembakau dan biochar sekam padi langsung diaplikasi.

Biochar-pupuk organik akan dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya sebelum diaplikasi ke tanah. Karakterisasi biochar-pupuk organik meliputi pH, KTK, C, kandungan mudah menguap, kadar abu dan hara, ukuran partikel, dan kemampuan pegang air.

Karakterisasi biochar dilakukan dengan mengukur sifat fisika yang menggunakan prosedur standar. Sifat fisik seperti bulk density (FCO, 1985), daya pegang air dengan metode AOAC 19th Ed, 2012, method 969.05; total C dengan metode gravimetri, ukuran partikel (ASTM) dengan mechanical. Pupuk organik dianalisis dengan prosedur standar.

4.2. Inkubasi biochar dan pupuk organik di dalam tanah

Percobaan dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang, Indonesia (7^o.48 '50 "BS dan 112^o.37 '41" BT) dengan suhu harian bervariasi sekitar 16^o- 36^oC dengan kelembaban relatif sekitar 43-86%, dan intensitas cahaya 365-1997 lux.

Sampel tanah komposit 0-30 cm diambil dari lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan, tepatnya di Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo, Desa Sukowilangun Kecamatan Kalipare, dan Desa Sumberrejo Kecamatan

Poncokusumo. Kecamatan Donomulyo terletak pada $112^{\circ}23'30'' - 112^{\circ}29'64''$ BT dan $8^{\circ}16'75'' - 8^{\circ}19'81''$ LS dengan tanah dari tipe Litosol Ordo Entisol. Bahan induk tanah Litosol dari jenis batuan beku atau sedimen keras yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna. Tanah tidak subur dan produktivitasnya rendah. Kecamatan Kalipare terletak $21,95^0 - 29,61^0$ BT dan $9,40^0 - 16,48^0$ LS dengan tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Afisol. Tanah dari Kalipare tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik. Kecamatan Poncokusumo, berjarak tempuh ke ibu kota kabupaten kurang lebih sejauh 24 km dengan tanah Regosol Ordo Entisol. Tanah dari Poncokusumo ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik.

Sampel tanah kering udara pada suhu kamar dengan kadar air $0,34 \text{ g g}^{-1}$ (Regosol); $0,5 \text{ g g}^{-1}$ (Litosol); dan $0,61 \text{ g g}^{-1}$ (Mediteran). Tanah ditempatkan dalam pot plastik dengan menggunakan sampel tanah yang diambil dari 3 jenis tanah di Kabupaten Malang. Setiap sampel tanah ditempatkan ke dalam pot plastik (diameter 18 cm dan tinggi 25 cm).

Perlakuan diatur dalam Rancangan Tersarang, yang terdiri atas 2 faktor. Faktor pertama adalah jenis tanah dari agroekosistem lahan kering yang produktivitasnya rendah, yaitu : (1). Alfisol/Mediteran (Kec. Kalipare), (2). Alfisol/Litosol (Kec. Donomulyo), (3). Regosol/Entisol (Kec. Poncokusumo). Faktor kedua adalah biochar-pupuk organik terdiri atas 12 perlakuan yang tersarang pada faktor pertama, yaitu:

1. Tanpa biochar-pupuk organik
2. Biochar sekam padi (S)
3. Biochar tongkol jagung (T)
4. Biochar jengkok tembakau (J)
5. Biochar sekam padi-kompos (SK)
6. Biochar sekam padi- kandang kotoran ayam (SA)
7. Biochar tongkol-kompos (TK)
8. Biochar tongkol- kandang kotoran ayam (TA)
9. Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam (JA)
10. Biochar jengkok tembakau-kompos (JK)
11. Kompos (K)

12. Pupuk kandang kotoran ayam (A)

Perlakuan diulang 3 kali. Kombinasi perlakuan sebanyak $3 \times 12 \times 3 = 108$ pot. Percobaan inkubasi dilakukan dalam pot yang diletakkan di rumah kaca. Biochar maupun pupuk organik yang diberikan secara tunggal, masing-masing dengan dosis 150 g pot^{-1} tetapi jika digunakan secara bersama (campuran) maka dosis yang digunakan masing-masing menjadi 75 g pot^{-1} . Ini setara dengan amandemen biochar dan atau pupuk organik $9,6 \text{ ton ha}^{-1}$ dalam lapisan olah 20 cm. Biochar-pupuk organik diaplikasikan ke dalam tanah dan dicampur secara merata dan dibiarkan selama 98 hari (14 minggu). Tanah sebanyak 3,85 kg dimasukkan ke dalam pot plastik dan ditambahkan dengan berlakuan menjadi 4 kg pot^{-1} . Inkubasi biochar-pupuk organik di dalam tanah dan diamati pada 7, 14, 28, 56, dan 95 hari. Selama inkubasi, kadar air tanah dipertahankan pada $0,11 - 0,18 \text{ g g}^{-1}$ (ekivalen dengan 70 - 80% dari kapasitas lapangan) dengan penambahan air 1 liter setiap 21 hari. Selama masa inkubasi (98 hari) diberi air di setiap 3 minggu (70-80% kapasitas lapangan). Setelah masa inkubasi dilakukan pengamatan terhadap sifat kimia, fisika, dan biologi tanah. Sifat kimia tanah diamati setiap masa inkubasi (5 kali pengamatan), meliputi pH dan C organik, KTK, KB, N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn. Sifat fisik tanah diamati pada awal sebelum penelitian dan pada inkubasi 98 hari. Pada awal penelitian dilakukan pengamatan sifat fisik, meliputi tekstur, bobot partikel tanah, kadar air (pF 0; 2; 4,2) secara gravimetrik untuk menentukan persentase ruang pori tanah. Pengamatan sifat fisik tanah pada akhir pengamatan meliputi bobot isi dan partikel, porositas, dan kadar air (pF). Dari kurva pF dapat dihitung persentase pori mikro, meso, dan makro. Kadar air tanah pada kurva 4,2 dikalikan dengan 100 (pori mikro), kadar air pada pF 2 dikurangi pF 4,2 dikalikan dengan 100 (pori meso), dan kadar air pada pF 0 dikurangi pF2 dikalikan 100 (pori makro). Sifat fisik tanah diamati dengan menggunakan ring sample (diameter 5 cm dan tinggi 5,5 cm) yang dibenamkan sampai 15 cm dari permukaan tanah atas. Sifat biologi tanah diamati setelah 45 dan 98 hari, meliputi kandungan mikrobial (bakteri dan jamur). Pengamatan untuk evaporasi selama 4 kali yang dilakukan setiap 3 minggu sekali, dimulai pada 3,6,9,12 minggu. Pot plastik diberi air sampai kapasitas lapangan pada 1 hari setelah aplikasi biochar sebanyak 1-2 liter/pot plastik. Pemberian air dilakukan setiap 3 minggu sekali,

sebanyak 1 liter per pot dengan menggunakan air sumur. Untuk pengamatan evaporasi dilakukan dengan penimbangan pot yang dilakukan satu hari sebelum dan sesudah pemberian air.

Sifat tanah ditentukan dengan menggunakan metode tanah Laboratory Survey Manual, (2004). Distribusi ukuran partikel dengan metode pipet; karbon organik tanah dengan oksidasi menggunakan kalium dikromat. Bobot isi, bobot partikel, dan porositas dengan ring sampel.

Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan dan dilanjutkan dengan uji DMRT.

BAB V

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. Karakteristik Jenis Tanah

Karakteristik setiap jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 1. Tanah regosol bertekstur pasir berlempung yang memiliki karbon organik yang sangat rendah dengan fraksi pasir 86%. Tanah litosol dan mediteran bertekstur liat, masing-masing 65% dan 76%. Karbon organik tanah rendah (litosol) dan sangat rendah (mediteran). Semua tanah memiliki C/N yang rendah dan pH masam (mediteran dan regosol) sampai agak masam (litosol).

Tabel 1. Karakteristik tanah sebelum penelitian

Parameter	Litosol	Mediteran	Regosol
pH H ₂ O	6,40	5,30	5,70
pH KCl 1N	6,10	5,00	5,30
C organik (%)	1,36	0,72	0,48
N total (%)	0,17	0,10	0,07
C/N	8	7	7
P.Braysl (mg kg ⁻¹)	45,65	45,65	106,52
K (me/100g)	0,35	0,34	0,36
Na (me/100g)	0,37	0,37	0,31
Ca (me/100g)	25,83	12,44	5,14
Mg (me/100g)	1,42	4,73	0,79
KTK (me/100g)	32,68	30,43	12,40
Jumlah basa (me/100g)	27,97	17,88	6,6
KB (%)	86	59	53
Pasir (%)	11	9	86
Debu (%)	24	15	3
Liat (%)	65	76	11
Tekstur	liat	liat	Pasir berlempung

5.2. Karakteristik Biochar dan Pupuk Organik

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan nutrisi tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomasa.

Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Bulk density biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm⁻³. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~ 0,3 Mg m⁻³ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m⁻³) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

Karakteristik fisik dari biochar dan pupuk organik disajikan pada Tabel 2. Total karbon biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam. Karbon organik dari pupuk kandang kotoran ayam > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012) bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ($p < 0,05$) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian ini (24 -53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.*, (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ($P < 0,05$) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar.

Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos.

Tabel 2. Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik

Parameter	Biochar, biomasa, dan pupuk organik							
	Biochar sekam padi	Sekam padi	Biochar tongkol jagung	Tongkol jagung	Biochar jengkol tembakau	Jengkol tembakau	Pupuk kandang kotoran ayam	Kompos
Kapasitas Pegang Air (%)	326,04		249,6		143,7		213,38	111,68
Bulk Density (g/cm ³)	0,65		0,27		0,31			
Ukuran Partikel (%)								
- Mesh 325 (0,044 mm)	2,7		0,8		0,55		0,15	0,2
- Mesh >60 (0,250 mm)	16,75		14,25		4,9		3,05	7,6
- Mesh Ukuran Butiran 30 (0,595 mm)	42,6		54,2		79,9		10,55	22
- Mesh 18 (1,00 mm)	68,15		70,8		94,9		20,95	36,2
pH (H ₂ O 1:2,5)	9,44	4,30	9,46	5,10	8,91	5,60	6,00	7,30
Total C (%)	29,8		45,6		40			
C organik (%)		30,08		34,24		22,56	25,02	15,58
Ec (mili siemens)	2,56		4,67		16,45		12,65	1,31
CEC cmol kg ⁻¹	19,53		40,12		34,62			
KTK me 100 g ⁻¹							37,78	59,03
Abu (%) (Ash)	53,4		23,6		32,8			
N (%)	0,57	0,92	0,51	0,84	1,83	2,45	4,05	2,60
P (%)	0,14	1,75	0,46	0,35	0,44	2,19	11,62	3,87
K (%)	1,71	0,25	3,96	0,68	5,15	0,38	0,29	0,04
S, SO ₄ (%)	0,22		0,41		0,42		0,36	0,29
Na (%)	0,33	0,35	1,63	0,39	1,83	2,32	1,81	1,77
Ca (%)	0,92	0,63	2,45	0,44	3,88	1,45	1,69	1,94
Mg (%)	0,03	0,23	0,28	0,06	0,36	0,73	0,35	0,44
Mn (%)	0,08		0,03		0,04		0,04	0,04

Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Beberapa macam ukuran pori biochar lebih tinggi daripada ukuran pori pupuk organik (Tabel 2). Mesh ukuran butiran 30 dan 18 dari biochar jengkok lebih lebih besar dari biochar tongkol tetapi mesh 325 dan diatas 60 dari biochar jengkok lebih kecil dari biochar tongkol. Ukuran partikel dari biochar dihasilkan dari pirolisis bahan organik yang tergantung pada sifat dari bahan asli. Karakteristik fisik dan kimia dari biochar dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan baku dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan waktu tinggal dalam tungku (Gaskin *et al.*, 2008). Keiluweit *et al.* (2010) melaporkan porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang. Volatil matter dari biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam padi.

5.3. Pengaruh jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik pada beberapa jenis tanah

Perubahan sifat fisik tanah dalam menanggapi penggunaan jenis biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah. Jenis biochar dan atau pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bobot isi, bobot partikel, porositas, dan persentase pori-pori tanah (makro, meso, dan mikro) dengan nilai signifikan $< \alpha (=0.05)$ (Tabel 3-7).

Bobot Isi Tanah

Secara umum pemberian biochar dan pupuk organik menurunkan bobot isi tanah pada ketiga jenis tanah tetapi tidak semua perlakuan memberikan tingkat penurunan yang sama pada masing-masing jenis tanah. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang

umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu aplikasi biochar mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Pemberian bahan organik mempengaruhi agregasi sehingga tercipta ruang pori-pori yang berakibat pada penurunan partikel padatan tanah yang berimplikasi untuk mengurangi pemadatan tanah yang mempengaruhi akar menembus tanah. Setelah diberi perlakuan, nilai bobot isi tanah terendah pada masing-masing jenis tanah berbeda. Bobot isi tanah regosol terendah dari perlakuan biochar sekam padi yang memiliki *Bulk density* lebih tinggi dari jenis biochar lainnya.

Ketiga jenis biochar yang diberikan pada tanah litosol menghasilkan bobot isi tanah yang sama. Jika masing-masing jenis biochar dikombinasi dengan pupuk organik maka bobot isi tanah lebih rendah daripada jika hanya menggunakan biochar tunggal. Penurunan bobot isi tanah litosol dari perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%.

Bobot isi tanah mediteran menunjukkan nilai yang sama dari perlakuan biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dan kompos, dan pupuk kandang ayam. Perlakuan yang diberikan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17 - 26% pada tanah mediteran.

Tabel 3. Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Isi Tanah (g cm^{-3})					
	Regosol		Litosol		Mediteran	
Kontrol	1.015	± 0.022 c	0.832	± 0.011 c	0.924	± 0.074 e
S	0.923	± 0.016 a	0.772	± 0.026 b	0.735	± 0.107 bc
T	0.962	± 0.037 ab	0.778	± 0.016 b	0.687	± 0.028 a
J	0.966	± 0.017 abc	0.767	± 0.005 b	0.808	± 0.023 d
SA	0.955	± 0.038 ab	0.699	± 0.026 a	0.697	± 0.026 a
SK	1.001	± 0.006 b	0.711	± 0.008 a	0.771	± 0.040 c
TA	1.013	± 0.046 c	0.689	± 0.022 a	0.710	± 0.034 ab
TK	0.972	± 0.017 abc	0.726	± 0.007 ab	0.790	± 0.010 c
JA	0.999	± 0.043 bc	0.720	± 0.010 ab	0.760	± 0.030 c
JK	0.960	± 0.053 ab	0.677	± 0.010 a	0.682	± 0.004 a
A	1.016	± 0.025 c	0.711	± 0.005 a	0.679	± 0.002 a
K	0.960	± 0.009 ab	0.823	± 0.041 c	0.771	± 0.039 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Bobot Partikel Tanah

Semua perlakuan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel tanah regosol. Bobot partikel tanah regosol meningkat dengan kombinasi biochar tongkol dan pupuk kandang ayam maupun kombinasi biochar jengkok dengan pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang ayam). Bobot partikel tanah litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Demikian pula pada tanah mediteran, bobot partikel tertinggi pada perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.

Tanah bertekstur kasar mempunyai kemampuan memegang air yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus. Kadar bahan organik dalam tanah mempengaruhi agregasi tanah yang selanjutnya akan mempengaruhi bobot partikel, bobot isi, dan ruang pori di dalam tanah.

Porositas tanah

Hampir semua perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini tidak menurunkan porositas tanah regosol, bahkan terjadi kenaikan dengan biochar sekam padi. Porositas tanah regosol meningkat 8% dari 57% (kontrol) menjadi 62% (biochar sekam padi). Porositas meningkat setelah diberi perlakuan pada tanah litosol maupun mediteran. Perlakuan terbaik untuk meningkatkan porositas tanah liat berasal dari kombinasi jenis biochar dan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol meningkatkan porositas tanah litosol sebesar 14% sedangkan kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas tanah mediteran sebesar 21%. Menurut Asai *et al.* (2009), biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air mengakibatkan ketersediaan nutrisi yang lebih baik. Jenis biochar dan pupuk organik memberi respon yang berbeda pada tanah bertekstur liat karena masing-masing tanah mengandung pasir, debu, liat dan C organik yang berbeda (Tabel 1). Demikian pula karena perbedaan karakteristik biochar dan pupuk organik (Tabel 2). Ammu and Anitha (2015) menyatakan porositas tertinggi dari biochar pertumbuhan kayu liar mengakibatkan kapasitas pegang air secara signifikan lebih tinggi.

Pori makro menunjukkan pori drainase cepat. Penurunan pori makro sejalan dengan penurunan porositas pada tanah regosol. Perlakuan pupuk kandang ayam terbaik dalam menurunkan pori makro pada tanah berpasir, sebesar 21,4% dari 37,3% menjadi 29,3%. Semua ukuran partikel pupuk kandang ayam terendah dibanding ketiga jenis biochar maupun kompos (Tabel 2) yang mungkin lebih cocok untuk menurunkan pori makro pada tanah dengan kadar pasir tertinggi. Penurunan pori makro sangat penting pada tanah berpasir supaya pori meso ataupun pori mikro meningkat sehingga kapasitas pegang air meningkat dan lebih banyak air yang bisa dimanfaatkan.

Tabel 4. Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Partikel Tanah (g cm ⁻³)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	2.367	±	0.006	ab	2.306	±	0.061	bc	2.230	±	0.026	ab
S	2.405	±	0.056	bc	2.259	±	0.033	ab	2.169	±	0.016	a
T	2.322	±	0.064	ab	2.412	±	0.022	c	2.211	±	0.009	ab
J	2.294	±	0.012	a	2.313	±	0.035	bc	2.148	±	0.009	a
SA	2.362	±	0.070	abc	2.349	±	0.014	c	2.393	±	0.002	c
SK	2.283	±	0.021	abc	2.194	±	0.006	a	2.281	±	0.018	b
TA	2.414	±	0.029	c	2.541	±	0.016	d	2.252	±	0.008	b
TK	2.324	±	0.022	abc	2.364	±	0.120	c	2.271	±	0.033	b
JA	2.425	±	0.022	c	2.503	±	0.046	d	2.574	±	0.012	d
JK	2.445	±	0.147	c	2.376	±	0.127	c	2.365	±	0.023	c
A	2.397	±	0.006	bc	2.294	±	0.077	bc	2.304	±	0.019	b
K	2.321	±	0.022	ab	2.372	±	0.032	c	2.330	±	0.036	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Sebaliknya pada tanah liat, semua perlakuan meningkatkan pori makro pada tanah mediteran. Kenaikan pori makro tertinggi sebesar 179% dari 13% menjadi 36% dari kombinasi biochar jengkok dan kompos pada mediteran. Akan tetapi tidak semua jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik dapat meningkatkan pori makro pada tanah litosol. Biochar sekam dan tongkol memberi pengaruh yang sama untuk meningkatkan pori makro pada tanah litosol. Penggunaan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam menunjukkan pori makro yang lebih baik daripada biochar jengkok yang digunakan secara tunggal. Penggunaan pupuk kandang ayam yang dikombinasi

dengan biochar sekam maupun biochar tongkol menghasilkan pori makro yang lebih tinggi daripada perlakuan tunggal pada tanah litosol. Kenaikan pori makro sebesar 28% dari 32% menjadi 45% dari kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam maupun kombinasinya dengan biochar tongkol. Persentase pori makro yang meningkat pada tanah liat bermanfaat untuk aerasi sehingga tanah tidak kelebihan air yang berdampak pada pernafasan akar tanaman terhambat.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah dengan persentase pori makro pada ketiga jenis tanah dengan nilai $r = -0,807$ (regosol); $r = -0,454$ (litosol); $r = -0,873$ (mediteran). Semakin tinggi bobot isi tanah semakin rendah persentase pori makro, dengan nilai R^2 sebesar 0,65 (regosol); 0,21 (litosol) dan 0,76 (mediteran).

Tabel 5. Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Porositas Tanah (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	57.117	± 0.996	ab	63.924	± 1.329	a	58.582	± 2.842	a
S	61.598	± 0.310	d	65.816	± 1.049	ab	66.088	± 5.196	cd
T	58.536	± 2.709	ab	67.764	± 0.957	bc	68.911	± 1.204	d
J	57.874	± 0.922	ab	66.813	± 0.664	abc	62.372	± 1.232	b
SA	59.524	± 2.779	bc	70.243	± 1.172	d	70.872	± 1.086	de
SK	56.149	± 0.189	ab	67.580	± 0.329	bcd	66.180	± 1.987	cd
TA	58.042	± 1.515	ab	72.884	± 1.025	e	68.471	± 1.554	de
TK	58.190	± 0.356	ab	69.220	± 1.808	cd	65.197	± 0.952	c
JA	58.803	± 2.138	bc	69.239	± 0.113	cd	70.476	± 1.304	de
JK	60.555	± 4.501	cd	71.448	± 1.131	de	71.157	± 0.462	e
A	55.117	± 0.907	a	68.971	± 1.282	cd	70.541	± 0.292	de
K	58.628	± 0.527	bc	65.313	± 1.385	ab	66.907	± 2.193	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 6. Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Makro (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	37.345	± 5.501	b	32.359	± 1.744	a	13.010	± 2.580	a
S	38.556	± 0.483	b	36.476	± 0.862	b	27.512	± 1.875	cd
T	35.616	± 3.107	ab	36.932	± 2.576	b	33.022	± 3.434	d
J	35.159	± 1.040	ab	26.334	± 1.402	a	18.818	± 2.159	ab
SA	37.533	± 3.865	b	45.128	± 4.873	c	34.881	± 1.972	de
SK	31.980	± 0.376	ab	27.799	± 3.359	a	24.489	± 3.178	b
TA	31.888	± 4.780	ab	44.794	± 1.791	c	31.480	± 3.542	de
TK	35.050	± 0.118	ab	37.015	± 4.763	b	22.987	± 1.610	bc
JA	35.031	± 3.122	ab	35.407	± 3.623	b	28.991	± 3.880	cd
JK	37.935	± 5.449	b	40.087	± 2.287	bc	36.339	± 2.036	e
A	29.386	± 0.686	a	37.130	± 3.047	b	28.210	± 1.305	cd
K	35.617	± 0.741	ab	31.869	± 3.237	a	28.347	± 4.630	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori meso menunjukkan pori air tersedia bagi tanaman. Pori meso meningkat 28% dari 9,6% (kontrol) menjadi 13,4% (biochar dan pupuk organik) pada tanah berpasir. Purakayastha *et al.* (2013) melaporkan kapasitas air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). Lebih lanjut disampaikan bahwa peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air dari biochar.

Jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan secara campuran maupun tunggal memberi pengaruh yang sama pada peningkatan pori meso tanah berpasir. Hasil penelitian ini sejalan dengan Atkinson *et al.*, 2010; Sutono dan Nurida 2012; dan Suwardji *et al.*, 2012 yang melaporkan biochar efektif memperbaiki retensi air tanah pada tanah berpasir. Peningkatan kapasitas air tersedia sebesar 16% dengan penambahan biochar kotoran sapi (Sukartono dan Utomo (2012). Distribusi ukuran partikel mencerminkan pori-pori, biochar memiliki pori-pori lebih tinggi daripada pupuk organik yang bermanfaat untuk meningkatkan luas permukaan tanah pada tekstur pasir berlempung. Disamping itu bahan organik sebagai granulator yang mempengaruhi pembentukan agregat tanah dan menjadikan struktur remah. Bahan organik mampu meningkatkan jumlah air yang dapat

ditahan di dalam tanah.

Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% (kontrol) menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada tanah mediteran. Selanjutnya pori meso juga menurun dengan kombinasi pupuk kandang ayam dan biochar sekam maupun biochar tongkol tetapi tidak mengalami penurunan jika dikombinasi dengan kompos pada mediteran. Penggunaan biochar sekam dan tongkol secara tunggal lebih baik dalam menurunkan pori meso daripada jika dikombinasikan dengan pupuk kandang. Biochar jengkok yang digunakan secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam tidak menurunkan pori meso, tetapi akan menurun jika dikombinasi dengan kompos pada mediteran.

Pengaruh penggunaan biochar jengkok pada pori meso tanah mediteran berbeda dengan tanah litosol meskipun kedua jenis tanah memiliki tekstur liat. Karbon organik tanah litosol dua kali lebih besar daripada tanah mediteran, kadar liat dan pori meso tanah litosol lebih rendah dari mediteran (Tabel 1). Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0% pada tanah litosol. Sedangkan pada tanah mediteran tidak menunjukkan penurunan pori meso. Biochar jengkok memiliki kapasitas memegang air lebih rendah (143,7%), ukuran partikel (0,044 mm dan 0,25 mm) lebih rendah; dan ukuran partikel (0,595 dan 1 mm) lebih tinggi dibanding biochar lainnya. Namun perlakuan lainnya tidak menunjukkan penurunan pori meso pada tanah litosol.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi dengan persentase pori meso dengan nilai $r = 0,371$ (regosol) dan $r = 0,578$ (mediteran), sedangkan pada litosol tidak menunjukkan korelasi yang nyata. Nilai R^2 sebesar 0,14 (regosol) dan 0,33 (mediteran).

Tabel 7. Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Meso (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	9.614	±	4.262 a	11.456	±	1.166 bc	17.422	±	2.663 c
S	13.834	±	0.228 b	11.063	±	1.207 bc	8.783	±	5.935 a
T	12.328	±	0.738 ab	13.072	±	1.865 bc	11.718	±	2.943 a
J	12.791	±	0.199 ab	5.038	±	6.068 a	18.123	±	2.230 c
SA	12.231	±	0.979 ab	11.785	±	1.180 bc	12.787	±	1.453 b
SK	13.124	±	0.205 b	12.001	±	6.130 bc	18.256	±	0.905 c
TA	13.915	±	1.855 b	13.439	±	0.463 bc	12.065	±	2.540 b
TK	12.387	±	0.375 ab	11.498	±	2.040 bc	17.272	±	0.648 c
JA	13.838	±	1.016 b	12.855	±	1.720 bc	18.182	±	0.769 c
JK	12.866	±	1.029 ab	14.401	±	1.195 c	13.586	±	1.424 b
A	15.869	±	0.523 b	13.964	±	2.848 bc	15.748	±	0.248 bc
K	14.198	±	0.280 b	10.844	±	1.989 b	12.999	±	2.613 b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori mikro merupakan pori drainase lambat yang menentukan kemampuan tanah memegang air. Pemberian jenis biochar dan pupuk organik belum berpengaruh terhadap peningkatan persentase pori mikro bahkan ada penurunan pori mikro dari perlakuan biochar sekam pada tanah berpasir.

Pada tanah mediteran, semua perlakuan dapat menurunkan pori mikro kecuali biochar sekam. Kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada tanah mediteran. Perlakuan lainnya juga menurunkan pori mikro sebesar 14,9% dari 28,3% menjadi 24,1% pada tanah mediteran. Penurunan persentase pori mikro pada tanah mediteran bermanfaat untuk mengurangi kadar air yang berlebih yang mengganggu aerasi tanah. Penambahan bahan organik berperan untuk agregasi tanah liat sehingga sirkulasi udara berjalan lebih baik.

Penggunaan jenis biochar dapat meningkatkan dan menurunkan pori mikro pada tanah litosol. Biochar sekam dan tongkol menurunkan pori mikro sebesar 11,9% dari 20,2% menjadi 17,8% pada litosol, tetapi biochar jengkok meningkatkan pori mikro sebesar 22,9% dari 20,2% menjadi 26,2% pada tanah litosol. Biochar jengkok memiliki kapasitas pegang air dan ukuran partikel (0,044

mm dan 0,250 mm) yang terendah dan ukuran partikel (0,595 mm dan 1 mm) yang tertinggi dibandingkan jenis biochar lainnya. Ketiga jenis biochar yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam dapat menurunkan pori mikro, tetapi tidak demikian jika dikombinasi dengan kompos pada tanah litosol.

Penurunan pori mikro pada tanah liat berimplikasi pada berkurangnya air berlebih yang menghalangi sirkulasi udara sehingga membatasi kebutuhan oksigen bagi akar tanaman yang berakibat pada kematian tanaman.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah berliat dengan persentase pori mikro dengan nilai $r = 0,557$ (litosol) dan $r = 0,536$ (mediteran). Nilai R^2 sebesar 0,29 (mediteran) dan 0,31 (litosol) tetapi pada tanah pasir korelasi tidak nyata.

Tabel 8. Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori mikro (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	10.171	± 0.297	bc	20.229	± 0.686	d	28.323	± 0.587	e
S	8.933	± 0.116	a	17.745	± 0.441	c	29.827	± 0.756	f
T	10.802	± 0.343	bc	17.836	± 0.284	c	24.198	± 0.723	bc
J	9.982	± 0.031	b	26.192	± 0.731	f	25.167	± 1.259	d
SA	9.929	± 0.123	b	14.911	± 1.136	a	23.300	± 0.608	b
SK	10.934	± 0.114	bc	21.102	± 0.176	e	23.310	± 0.598	b
TA	11.002	± 0.004	c	14.670	± 0.571	a	24.731	± 0.466	cd
TK	10.773	± 0.392	bc	19.226	± 0.689	d	24.820	± 0.312	cd
JA	9.984	± 0.027	bc	18.844	± 0.270	d	23.122	± 2.186	b
JK	9.951	± 0.084	b	14.817	± 0.316	a	21.129	± 0.224	a
A	9.862	± 0.240	b	15.759	± 0.672	b	21.047	± 0.082	a
K	9.023	± 0.040	b	21.761	± 0.413	e	25.864	± 0.236	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

5.4. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kandungan bahan organik tanah pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Setelah penambahan biochar dan pupuk organik ke tanah, variasi karakteristik biochar dan pupuk organik dapat menyebabkan pengaruh yang bervariasi pada bahan organik tanah maupun jenis tanah. Bahan organik tanah regosol, litosol, dan mediteran setelah perlakuan disajikan pada Tabel 8-12. Perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah pada hari

ke-7 sampai ke-98. Jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah (nilai signifikan $< \alpha (=0.05)$).

Perubahan karbon organik akan mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan bahan organik tanah sejak hari ke-7 sampai hari ke-98 pada tiga jenis tanah. Kadar bahan organik tanah sangat bervariasi naik dan turun di setiap hari pengamatan (Gambar 2-4). Bahan organik tanah dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada pupuk organik. Biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos meningkatkan bahan organik tanah litosol pada 7-14 hari setelah inkubasi tetapi biochar tongkol jagung yang dicampur kompos meningkatkan bahan organik tanah regosol pada hari ke-98. Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008).

Setiap jenis tanah menunjukkan kadar bahan organik tanah yang berbeda meskipun dengan perlakuan yang sama. Bahan organik tanah litosol lebih tinggi daripada mediteran pada semua pengamatan meskipun kedua tanah memiliki tekstur yang sama (liat). Hal ini berhubungan dengan bahan organik tanah awal dari litosol (1,36%) lebih besar dari mediteran (0,72%). Bahan organik tanah litosol yang tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos maupun pupuk kandang kotoran ayam. Bahan organik tanah tertinggi sebesar 3,56 – 3,98% (litosol); 1,3 – 2,1% (mediteran); dan 0,97 – 1,85% (regosol) (Tabel 8). Penggunaan berbagai jenis biochar dan pupuk organik belum menunjukkan perbedaan yang mencolok pada bahan organik tanah regosol pada hari ke-7 tetapi tidak demikian pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan kenaikan bahan organik tanah regosol secara tajam dimulai pada hari ke-14 (0,94 – 2,5%). Namun bahan organik tanah mediteran dari perlakuan campuran biochar dan pupuk organik cenderung lebih baik daripada hanya diberi biochar saja pada hari ke-7 (Tabel 8).

Tabel 9. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.758	±0.067	a	1.590	±0.018	a	1.127	±0.000	a
S	1.119	±0.001	ab	1.891	±0.065	ab	1.334	±0.307	ab
T	1.415	±0.282	ab	3.169	±0.470	ef	1.631	±0.148	abc
J	1.849	±0.269	b	3.981	±0.494	g	1.581	±0.161	abc
SA	1.476	±0.005	ab	2.596	±0.139	cd	1.945	±0.144	c
SK	0.974	±0.141	ab	2.245	±0.276	bcd	1.673	±0.278	abc
TA	1.469	±0.133	ab	2.654	±0.141	d	1.723	±0.492	bc
TK	1.800	±0.000	b	2.099	±0.419	bc	1.938	±0.141	c
JA	1.690	±0.281	b	3.780	±0.370	g	2.099	±0.556	c
JK	1.693	±0.154	b	3.559	±0.639	fg	2.109	±0.365	c
A	1.414	±0.281	ab	2.684	±0.162	de	2.021	±0.162	c
K	1.400	±0.311	ab	2.436	±0.570	cd	1.612	±0.321	abc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Setelah hari-14, bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (regosol), biochar tongkol jagung yang tidak berbeda dengan campuran biochar jengkok tembakau dan kompos (litosol), serta biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar tongkol jagung (mediteran). Telah dilaporkan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Total karbon dari tongkol jagung dan jengkok tembakau, berturut-turut 46% dan 40% yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amendemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Tabel 10. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.724	±0.068	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.303	±0.087	e	2.348	±0.209	b	1.879	±0.055	c
T	1.505	±0.138	f	4.467	±0.150	e	3.433	±0.037	g
J	2.486	±0.173	i	3.988	±0.031	d	3.404	±0.078	g
SA	1.032	±0.022	bc	2.245	±0.136	b	1.685	±0.024	b
SK	1.085	±0.037	cd	2.775	±0.158	c	1.656	±0.060	b
TA	1.201	±0.042	de	2.728	±0.025	c	2.588	±0.345	f
TK	1.823	±0.040	g	3.010	±0.090	d	1.926	±0.010	cd
JA	1.638	±0.075	f	2.889	±0.032	c	2.236	±0.051	e
JK	1.906	±0.140	h	4.647	±0.061	e	2.583	±0.010	f
A	1.299	±0.051	e	2.267	±0.036	b	2.099	±0.026	d
K	0.940	±0.044	b	3.130	±0.157	c	1.793	±0.025	bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (regosol dan mediteran) serta biochar tongkol jagung (litosol) pada hari ke-28 (Tabel 5) dan ke-56 (Tabel 11). Kemungkinan pengaruh dari rasio C/N dan pH pada dekomposisi bahan organik. Rasio C/N pada kedua tanah sama (7) sedangkan pH tanah regosol (5,5) dan mediteran (5,3) cenderung masam sehingga perlakuan biochar jengkok tertinggi untuk meningkatkan bahan organik pada kedua jenis tanah (regosol dan mediteran). Kandungan liat pada tanah litosol lebih rendah daripada mediteran. Kemampuan tanah menahan air terletak pada kandungan liat. Kapasitas pegang air dari biochar tongkol jagung (249,6%) lebih tinggi daripada biochar jengkok (143,7%). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat meningkatkan kapasitas tanah menahan air sehingga biochar dapat mempertahankan air dalam tanah litosol sehingga reaktivitasnya meningkat, baik mikroba untuk memperbanyak diri dan untuk berbagai unsur dan senyawa lainnya serta kelembaban tanah untuk laju dekomposisi.

Tabel 11. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.859	±0.026	a	1.598	±0.011	a	1.202	±0.075	a
S	1.267	±0.199	bc	2.624	±0.030	d	1.990	±0.031	c
T	1.966	±0.020	e	5.004	±0.088	i	2.870	±0.062	f
J	3.042	±0.040	f	4.143	±0.029	h	3.368	±0.021	g
SA	1.187	±0.052	bc	2.724	±0.045	de	1.539	±0.035	b
SK	1.142	±0.087	b	2.913	±0.009	f	1.380	±0.222	b
TA	1.509	±0.068	d	3.247	±0.066	b	1.528	±0.020	b
TK	1.650	±0.513	d	2.854	±0.045	ef	1.995	±0.038	c
JA	1.906	±0.027	e	2.448	±0.037	c	2.232	±0.017	d
JK	1.888	±0.010	e	3.532	±0.027	g	2.453	±0.023	e
A	1.332	±0.034	c	2.241	±0.023	b	1.949	±0.026	c
K	1.228	±0.050	bc	2.654	±0.240	d	1.960	±0.020	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 12 menunjukkan bahan organik tanah tertinggi pada campuran biochar tongkol jagung dan kompos (regosol), biochar jengkok tembakau (litosol), dan biochar tongkol jagung yang tidak berbeda nyata dengan biochar jengkok tembakau (mediteran) pada akhir pengamatan (hari ke-98). Bahan organik tanah litosol dari perlakuan biochar sekam padi meningkat dari 2,5% menjadi 2,8 – 2,9% jika biochar sekam dicampur pupuk organik (pupuk kandang kotoran ayam maupun kompos).

Pengamatan hari ke-98 menunjukkan bahan organik tanah regosol yang meningkat 2 - 2,4 kali jika biochar tongkol jagung dicampur pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang kotoran ayam). Sebaliknya bahan organik tanah litosol maupun mediteran menurun 1,3 – 1,5 kali jika biochar tongkol dicampur pupuk organik. Demikian pula bahan organik tanah litosol dan mediteran menurun sebesar 1,1 - 1,4 kali jika biochar jengkok tembakau digunakan bersama pupuk organik.

Tabel 12. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.871	±0.024	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.052	±0.030	bc	2.366	±0.036	c	1.782	±0.017	d
T	1.580	±0.020	e	4.523	±0.340	g	2.240	±0.026	e
J	2.792	±0.043	g	3.807	±0.017	f	3.083	±0.057	g
SA	0.937	±0.014	ab	1.794	±0.036	b	1.593	±0.065	d
SK	1.266	±0.013	cd	1.870	±0.018	b	1.298	±0.085	b
TA	1.097	±0.026	bc	1.990	±0.045	b	1.121	±0.041	a
TK	1.247	±0.016	d	2.520	±0.098	c	1.674	±0.087	d
JA	3.252	±0.052	h	3.252	±0.052	e	2.647	±0.096	e
JK	2.044	±0.014	f	3.291	±0.101	e	2.476	±0.014	f
A	1.110	±0.013	cd	3.021	±0.112	d	1.634	±0.030	d
K	1.100	±0.021	cd	2.922	±0.060	d	1.410	±0.026	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Dinamika kadar bahan organik dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 2-4. Perubahan kadar bahan organik meningkat, menurun, ataupun tetap tidak terlepas dari proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum kadar bahan organik cenderung tetap, naik atau turun pada masing-masing pengamatan tergantung aplikasi biochar-pupuk organik maupun jenis tanah.

Biochar jengkok tembakau yang diterapkan pada regosol menunjukkan bahan organik tertinggi sampai hari ke-28 dan akan semakin meningkat jika dicampur dengan pupuk kandang kotoran ayam pada hari ke-56, selanjutnya menurun sampai hari ke-98 (Gambar 2). Bahan organik tanah litosol cenderung terus meningkat tajam hingga hari ke-28 dari perlakuan biochar tongkol jagung, selanjutnya semakin menurun sampai hari ke-98. Tidak demikian jika menggunakan biochar jengkok tembakau. Bahan organik tanah litosol tidak mengalami lonjakan tajam naik maupun turun dari waktu ke waktu dari perlakuan biochar jengkok tembakau. Berbeda jika biochar jengkok tembakau dicampur dengan kompos, bahan organik tanah litosol mengalami kenaikan dan penurunan pada hari ke-14 sampai hari ke-28, selanjutnya relatif sama hingga hari ke-98

(Gambar 3). Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

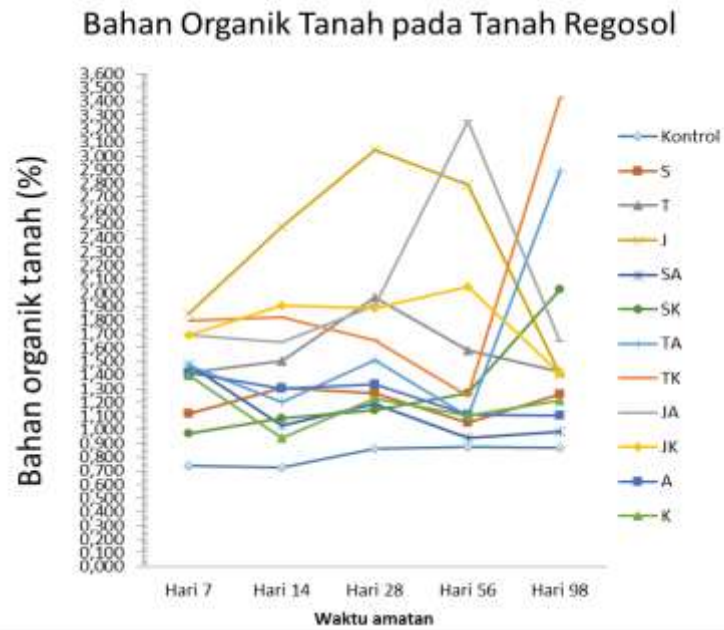
Tabel 13. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.865	±0.062	a	1.655	±0.203	a	1.094	±0.148	a
S	1.260	±0.087	cd	2.491	±0.035	b	1.754	±0.039	bc
T	1.426	±0.105	de	3.270	±0.017	d	2.553	±0.053	g
J	1.405	±0.027	de	4.037	±0.608	e	2.641	±0.082	g
SA	0.983	±0.050	ab	2.752	±0.018	c	2.189	±0.039	e
SK	2.024	±0.063	f	2.874	±0.047	c	1.847	±0.049	cd
TA	2.890	±0.090	g	2.625	±0.027	b	1.689	±0.043	bc
TK	3.424	±0.037	h	2.330	±0.044	b	2.001	±0.044	e
JA	1.647	±0.108	e	3.437	±0.027	d	2.482	±0.054	f
JK	1.414	±0.025	d	3.448	±0.020	d	1.920	±0.200	d
A	1.105	±0.018	b	2.594	±0.017	b	1.509	±0.035	b
K	1.217	±0.036	c	2.933	±0.033	c	1.870	±0.203	c

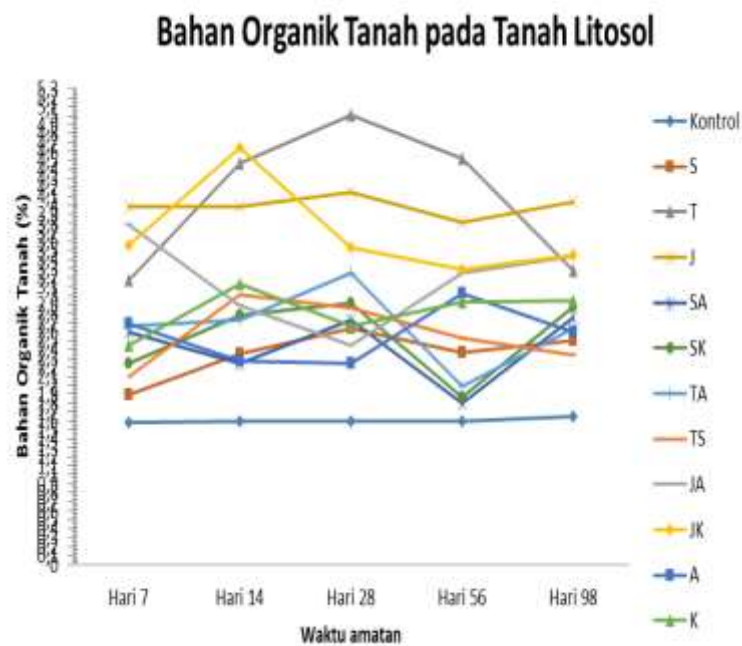
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

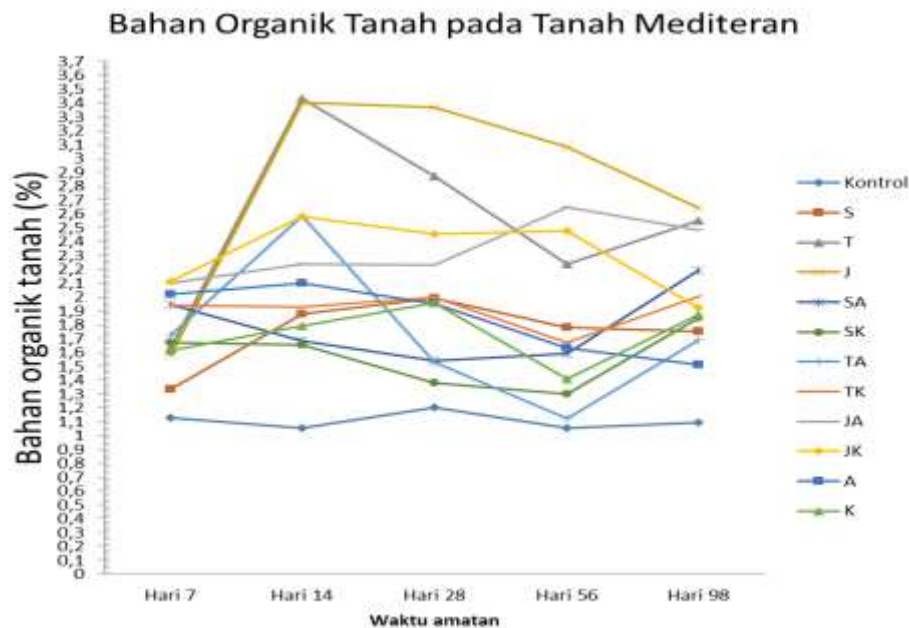
Bahan organik tanah mediteran lebih tinggi pada perlakuan biochar jengkok tembakau dibandingkan perlakuan lainnya sampai hari ke-98. Bahan organik tanah litosol meningkat hingga hari ke-14, selanjutnya menurun terus hingga hari ke-98 (Gambar 4).



Gambar 2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah regosol



Gambar 3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah litosol



Gambar 4. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah mediteran.

5.5. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan jumlah total ion dapat ditukar yang bermuatan positif (meq/100 g tanah). Sebuah KTK lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dari tanah untuk menyerap dan menahan nutrisi dan karenanya ketersediaan hara menjadi lebih tinggi (Novak et al., 2009). Biochar diperkirakan meningkatkan KTK karena kemampuannya untuk meningkatkan kadar nutrisi dan ketersediaan hara dalam tanah (3). Banyak tanah lokal mengandung liat tinggi dan bahan organik, yang mengarah KTK > 30 meq / 100 g tanah. Tanah berpasir di dekat pantai yang rendah liat dan bahan organik <10 meq / 100 g tanah (11). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan mereka menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit.

КТК merupakan sifat kimia yang berhubungan dengan kesuburan tanah. Tanah yang mengandung bahan organik atau liat tinggi memiliki КТК lebih tinggi daripada yang bahan organik rendah atau tanah berpasir (Hardjowigeno 2007). Nilai КТК tergantung pada karakteristik tanah. Menurut Hakim *et al.* (1986), КТК tanah dipengaruhi oleh pH, tekstur atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik, pengapuran dan pemupukan. Semakin halus tekstur tanah semakin tinggi КТК tanah. Proses penyerapan unsur hara oleh koloid tanah tidak berlangsung intensif pada КТК yang rendah dan akibatnya unsur-unsur hara mudah tercuci dan hilang melalui infiltrasi maupun perkolasi air ke dalam tanah sehingga hara tidak tersedia bagi tanaman. Hasil analisis КТК dengan nested design disajikan pada Tabel 13, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 14-18.

Tabel 13 menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap КТК tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 14-18.

Tabel 14. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 15. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Regosol				Litosol			Mediteran	
Kontrol	11.700	±	0.500	a	24.200	±	0.173	a	32.363 ± 2.713 a
S	17.010	±	1.674	b	32.530	±	2.001	b	43.565 ± 4.569 bc
T	18.763	±	2.202	b	33.872	±	0.000	b	41.584 ± 1.097 bc
J	19.120	±	1.074	b	35.566	±	0.057	bc	47.979 ± 2.759 cd
SA	16.286	±	2.179	ab	34.199	±	1.630	bc	52.165 ± 0.029 d
SK	17.436	±	1.716	b	32.392	±	0.531	b	42.098 ± 1.642 c
TA	18.619	±	1.602	b	35.651	±	2.842	b	44.767 ± 1.966 c
TS	18.676	±	1.100	b	32.159	±	0.740	b	44.625 ± 0.556 c
JA	17.790	±	1.680	b	37.532	±	2.226	c	49.283 ± 1.104 d
JK	17.582	±	1.602	b	38.008	±	1.404	c	51.019 ± 1.118 d
A	17.284	±	0.565	b	37.264	±	1.104	c	38.084 ± 1.019 b
K	17.903	±	2.107	b	37.118	±	2.254	c	46.179 ± 0.563 d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Semua perlakuan dapat meningkatkan nilai KTK tanah pada 7 hari inkubasi. Kenaikan nilai KTK pada regosol relatif sama pada semua perlakuan (53%) tetapi pada tanah mediteran dan litosol tergantung perlakuan yang diberikan. Penggunaan pupuk organik secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok pada litosol dapat meningkatkan nilai KTK yang sama, sebesar 55%, sedangkan perlakuan lainnya meningkatkan nilai KTK sebesar 40%. Pada tanah mediteran, kenaikan nilai KTK lebih tinggi dari perlakuan biochar sekam+pupuk kandang ayam (63%) daripada perlakuan biochar+kompos (38%), tetapi kenaikan nilai KTK adalah sama antara perlakuan biochar tongkol jagung yang diaplikasi secara tunggal maupun yang digunakan bersama dengan pupuk kandang ayam ataupun kompos (35%). Perlakuan biochar jengkok secara tunggal tidak berbeda jika digunakan bersama pupuk organik, dengan kenaikan nilai KTK sebesar 53%. Kenaikan nilai KTK pada inkubasi 7 hari telah merubah status KTK tanah mediteran dari tinggi (25-40 c mol kg⁻¹) menjadi sangat tinggi (>40 c mol kg⁻¹) dengan semua perlakuan (Tabel 2). Hasil penelitian menunjukkan nilai KTK tanah mediteran berkurang pada inkubasi selanjutnya (14-98 hari) dengan status tinggi pada semua perlakuan (Tabel 3-6). Setelah inkubasi 14 hari, KTK tanah mediteran relatif tinggi (33-42 me/100 g⁻¹) diberi perlakuan dan kontrol.

Tabel 16. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	11.700	±	0.500	a	24.200	±	0.173	a	32.363	±	2.713	a
S	17.010	±	1.674	b	32.530	±	2.001	b	43.565	±	4.569	bc
T	18.763	±	2.202	b	33.872	±	0.000	b	41.584	±	1.097	bc
J	19.120	±	1.074	b	35.566	±	0.057	bc	47.979	±	2.759	cd
SA	16.286	±	2.179	ab	34.199	±	1.630	bc	52.165	±	0.029	d
SK	17.436	±	1.716	b	32.392	±	0.531	b	42.098	±	1.642	c
TA	18.619	±	1.602	b	35.651	±	2.842	b	44.767	±	1.966	c
TS	18.676	±	1.100	b	32.159	±	0.740	b	44.625	±	0.556	c
JA	17.790	±	1.680	b	37.532	±	2.226	c	49.283	±	1.104	d
JK	17.582	±	1.602	b	38.008	±	1.404	c	51.019	±	1.118	d
A	17.284	±	0.565	b	37.264	±	1.104	c	38.084	±	1.019	b
K	17.903	±	2.107	b	37.118	±	2.254	c	46.179	±	0.563	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Perlakuan memberikan variasi terhadap kenaikan nilai KTK pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-14. Nilai KTK regosol tergolong rendah (5-16 cmol kg⁻¹) tetapi perlakuan biochar jengkok dapat meningkatkan pada status sedang (17-24 cmol kg⁻¹). Pada litosol menunjukkan bahwa status nilai KTK yang sedang (kontrol) meningkat menjadi tinggi (perlakuan) sedangkan pada tanah mediteran menunjukkan relatif tidak ada perubahan status nilai KTK (kategori tinggi dengan KTK 25-40 cmol kg⁻¹).

Tabel 17. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 28 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.578	± 0.508	a
S	14.461	± 0.211	cd	29.133	± 0.024	b	33.989	± 0.312	b
T	15.517	± 0.320	de	31.487	± 0.110	d	36.876	± 0.158	e
J	14.768	± 0.145	cd	35.249	± 1.122	f	35.061	± 0.161	c
SA	14.814	± 0.105	d	31.480	± 0.302	d	34.388	± 0.290	bc
SK	13.077	± 0.009	b	28.540	± 0.202	b	33.599	± 0.051	b
TA	15.878	± 0.200	e	34.208	± 0.201	e	35.098	± 0.051	b
TS	14.183	± 0.106	cd	32.083	± 0.695	d	38.176	± 0.022	f
JA	15.785	± 0.061	e	35.608	± 0.447	f	34.753	± 0.208	c
JK	12.967	± 0.208	b	30.050	± 0.276	c	36.200	± 0.050	de
A	13.832	± 0.379	bc	35.937	± 0.143	fg	35.554	± 0.397	cd
K	15.152	± 0.933	de	36.518	± 0.164	g	36.055	± 0.038	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tingkat perubahan nilai KTK menunjukkan trend yang sama sejak inkubasi hari ke-7 hingga ke-98 pada regosol dan litosol. KTK dari ketiga jenis tanah, yaitu rendah (regosol) serta tinggi (litosol dan mediteran) pada inkubasi 28 hari. Inkubasi 28 hari, ketiga jenis biochar yang dicampur pupuk kandang ayam meningkatkan nilai KTK regosol dan litosol yang lebih baik daripada aplikasi biochar secara tunggal. Khususnya litosol, hal tersebut telah konsisten mulai inkubasi 14, 28, 56, dan 98 hari. Namun pada mediteran, nilai KTK sangat beragam tergantung perlakuan pada 28 hari tetapi hasil yang serupa terjadi pada 7-14 hari.

Pada akhir inkubasi (98 hari), pemberian biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan nilai KTK sebesar hampir 2 kali pada regosol. Kenaikan nilai KTK regosol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok. Sementara itu ketiga jenis biochar maupun pupuk organik menunjukkan nilai KTK yang relatif sama pada regosol. Kombinasi perlakuan antara biochar dan pupuk organik menunjukkan nilai KTK tanah regosol yang lebih rendah dibandingkan penggunaan secara tunggal (kecuali biochar jengkok+pupuk kandang ayam). Pada 98 hari, nilai KTK dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada perlakuan pupuk organik pada litosol. Penggunaan

kombinasi biochar dengan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada aplikasi tunggal pada litosol.

Penggunaan bersama antara biochar dan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada penggunaan secara tunggal pada tanah mediteran. Aplikasi kombinasi biochar sekam+pupuk kandang ayam lebih baik daripada penggunaan secara tunggal, kombinasi biochar tongkol+kompos lebih baik daripada aplikasi secara tunggal, kombinasi biochar jengkok+kompos tidak berbeda dengan kombinasi biochar jengkok+pupuk kandang ayam dan menunjukkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada digunakan secara tunggal (Tabel 6).

Tabel 18. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 56 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	0.500	a	24.200	0.173	a	31.464	0.306	a
S	13.333	0.231	b	26.567	0.115	b	33.133	0.058	c
T	16.800	0.100	e	30.700	0.656	e	37.786	0.021	h
J	14.287	0.203	c	31.394	0.212	f	36.108	0.023	g
SA	17.267	0.153	f	28.531	0.086	c	33.825	0.057	d
SK	16.533	0.252	e	28.838	0.114	c	34.138	0.030	e
TA	15.067	0.153	d	32.888	0.084	g	35.767	0.051	f
TS	17.333	0.208	f	30.094	0.020	d	33.288	0.020	c
JA	13.887	0.109	b	33.700	0.173	h	32.321	0.010	b
JK	13.342	0.235	b	30.734	0.075	e	35.825	0.113	f
A	17.500	0.300	f	32.851	0.048	g	34.095	0.015	e
K	11.931	0.073	a	30.715	0.058	e	33.667	0.052	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Dinamika KTK dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. KTK pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 5-7. Jenis tanah litosol menunjukkan KTK dengan tren yang relatif tetap dari waktu ke waktu dan semua perlakuan kontrol menunjukkan KTK yang terendah (Gambar 5). Berbeda dengan tanah mediteran, KTK tanah sedikit menurun pada 14 hari kemudian relatif sama hingga akhir pengamatan (Gambar 6). Perlakuan pada tanah bertekstur liat (litosol dan mediteran) menunjukkan perbedaan diantara

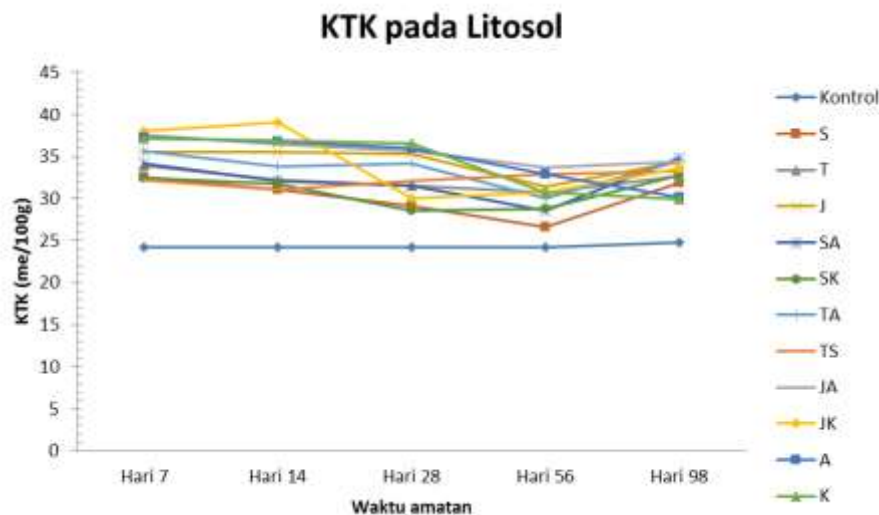
kedua jenis tanah hanya pada 14 hari. KTK mediteran menurun dari 7 ke 14 hari selanjutnya tren KTK relatif sama hingga 98 hari, tetapi pada litosol tidak ada perubahan nilai KTK. Tidak demikian dengan tanah berpasir (regosol) yang sedikit ada peningkatan nilai KTK pada 98 hari.

Tabel 19. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98

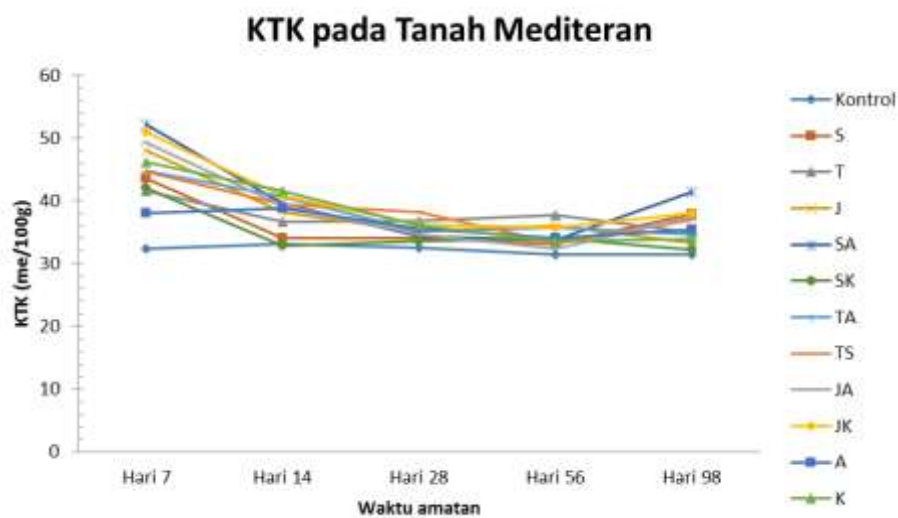
Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	8.733	0.473	a	24.733	0.513	a	31.464	0.306	a
S	17.691	1.252	de	31.897	0.145	c	37.945	0.156	ef
T	17.639	0.703	de	32.687	0.301	d	34.939	0.171	d
J	18.326	0.762	ef	34.367	0.666	f	33.358	0.587	c
SA	15.752	0.965	c	34.873	0.404	f	41.363	0.645	g
SK	15.604	0.420	c	32.728	0.169	d	32.206	0.700	b
TA	17.886	0.295	de	34.447	1.129	f	34.665	0.680	cd
TS	15.319	0.553	c	33.246	0.509	de	37.036	0.121	e
JA	17.255	0.844	d	34.332	0.495	f	37.445	0.493	ef
JK	13.098	0.200	b	33.633	0.451	e	38.000	0.100	f
A	18.900	0.755	f	30.125	0.263	b	35.376	0.552	d
K	17.295	0.355	d	29.960	0.918	b	33.856	0.950	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

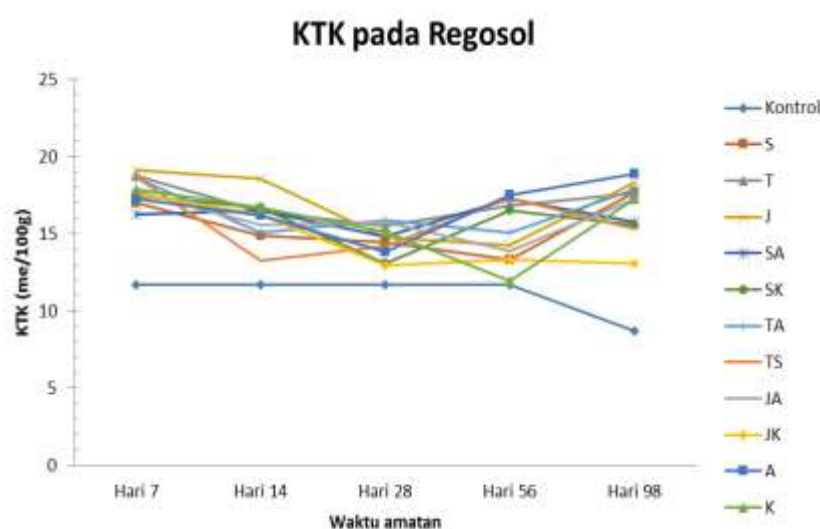
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 5. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah litosol



Gambar 6. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah mediteran



Gambar 7. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah regosol

5.6. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis pH dengan nested design disajikan pada Tabel 19, sedangkan uji lanjut dengan DMRT pH tanah disajikan pada Tabel 20-24.

Tabel 20. Hasil analisis nested design pH tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 19 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap pH tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 20-24.

Biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran memiliki efek menaikkan pH tanah. Meningkatkan pH tanah mungkin memberikan kontribusi yang paling penting untuk meningkatkan kualitas tanah. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa pirolisis dapat meningkatkan pH dari bahan baku menjadi biochar seperti: pH biochar sekam 9,44 dan pH sekam padi 4,30; pH biochar tongkol jagung 9,46 sedangkan pH tongkol jagung 5,10; pH biochar jengkok 8,91 sedangkan pH jengkok 5,6. Pupuk kandang ayam mempunyai pH 6,0 dan kompos 7,3. Biochar yang digunakan pada penelitian ini mempunyai pH yang bersifat basa sedangkan pH pupuk organik cenderung netral. Basa adalah akseptor proton, yang mengurangi konsentrasi ion bermuatan positif di dalam tanah, yang menyebabkan pH di atas 7 (9). Menurut Hakim *et al.* (1986) faktor yang mempengaruhi pH antara lain : Kejenuhan basa, sifat misel (koloid), macam kation yang terjerap.

Hari 7

Secara umum menunjukkan bahwa pH tanah regosol dan litosol meningkat dengan aplikasi biochar dan pupuk organik pada 7 hari inkubasi (Tabel 20). Akan tetapi pH tanah mediteran belum meningkat dengan pemberian biochar tongkol maupun kompos.

Inkubasi 7 hari di regosol, perlakuan biochar sekam, biochar tongkol, pupuk kandang, dan kompos secara tunggal maupun campuran dapat meningkatkan nilai pH sebesar 0,3 unit dari 6,03 menjadi 6,34. Namun biochar jengkok terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,7 unit dari 6,03 menjadi 6,70. Pada inkubasi 7 hari di litosol menunjukkan pH tertinggi pada perlakuan biochar tongkol dan jengkok, yaitu 0,4 unit dari 6,80 menjadi 7,22. Berbeda pada tanah mediteran, penggunaan pupuk kandang tunggal ataupun yang dicampur dengan biochar tongkol terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,4 unit, dari 5,93 menjadi 6,35.

Tabel 21. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	8.733	0.473	a	24.733	0.513	a	31.464	0.306	a
S	17.691	1.252	de	31.897	0.145	c	37.945	0.156	ef
T	17.639	0.703	de	32.687	0.301	d	34.939	0.171	d
J	18.326	0.762	ef	34.367	0.666	f	33.358	0.587	c
SA	15.752	0.965	c	34.873	0.404	f	41.363	0.645	g
SK	15.604	0.420	c	32.728	0.169	d	32.206	0.700	b
TA	17.886	0.295	de	34.447	1.129	f	34.665	0.680	cd
TS	15.319	0.553	c	33.246	0.509	de	37.036	0.121	e
JA	17.255	0.844	d	34.332	0.495	f	37.445	0.493	ef
JK	13.098	0.200	b	33.633	0.451	e	38.000	0.100	f
A	18.900	0.755	f	30.125	0.263	b	35.376	0.552	d
K	17.295	0.355	d	29.960	0.918	b	33.856	0.950	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, semua perlakuan dapat meningkatkan pH di tiga jenis tanah (Tabel 21). Pada inkubasi 14 hari, kenaikan pH regosol terbaik dari beberapa perlakuan, yaitu biochar jengkok, campuran kompos dengan biochar jengkok

maupun tongkol serta pupuk kandang ayam. Kenaikan pH regosol sebesar 0,8 unit dari 6,0 menjadi 6,8. Perlakuan biochar jengkok yang dicampur kompos yang diterapkan pada litosol merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan pH tanah (0,5 unit), dari 6,7 menjadi 7,2 sedangkan perlakuan lainnya sekitar 7,0. Hampir semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah mediteran sebesar 0,8 unit dari 5,77 menjadi 6,53.

Tabel 22. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.000	0.100	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.533	0.058	d
T	6.600	0.100	d	7.067	0.058	cd	6.233	0.058	ab
J	6.867	0.058	e	7.067	0.058	cd	6.533	0.058	d
SA	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.500	0.100	d
SK	6.367	0.153	c	7.033	0.058	bc	6.333	0.058	bc
TA	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.533	0.058	d
TK	6.733	0.153	e	7.067	0.058	bc	6.233	0.058	ab
JA	6.567	0.115	d	7.067	0.058	cd	6.500	0.100	d
JK	6.833	0.058	e	7.200	0.100	d	6.433	0.058	cd
A	6.733	0.058	e	6.933	0.058	b	6.533	0.058	d
K	6.233	0.115	bc	6.867	0.058	ab	6.400	0.100	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

pH regosol pada inkubasi 28-56 hari menunjukkan trend yang sama dengan inkubasi sebelumnya, yaitu perlakuan terbaik dari biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan kompos. Kenaikan pH regosol sebesar 0,9-1 unit dari 6,0 menjadi 6,9 (28 hari) dan dari 6,0 menjadi 7,0. Sementara itu sebagian besar perlakuan meingkatkan pH litosol sebesar 0,4 unit dari 6,77 menjadi 7,15 tetapi khususnya perlakuan biochar jengkok dan kompos menghasilkan kenaikan pH tertinggi sebesar 7,37. pH tanah mediteran meningkat dengan semua perlakuan. Kenaikan pH dari 5,77 menjadi 6,10 sampai 6,73 dan terendah pada kompos dan tertinggi pada biochar sekam padi (Tabel 22).

Tabel 23. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.213	0.115	b	7.167	0.058	bc	6.733	0.153	f
T	6.533	0.058	d	7.267	0.058	cd	6.267	0.058	c
J	6.967	0.058	f	7.167	0.058	bc	6.333	0.058	c
SA	6.233	0.058	b	7.067	0.058	ab	6.467	0.058	d
SK	6.533	0.058	d	7.167	0.058	bc	6.233	0.058	c
TA	6.333	0.058	bc	7.067	0.058	ab	6.433	0.058	d
TS	6.333	0.058	bc	7.167	0.058	bc	6.433	0.058	ef
JA	6.733	0.058	e	7.133	0.058	ab	6.633	0.058	e
JK	6.900	0.100	f	7.367	0.058	d	6.467	0.058	d
A	6.333	0.058	bc	7.067	0.058	ab	6.533	0.058	de
K	6.433	0.058	cd	7.233	0.058	c	6.100	0.100	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Inkubasi ke-56 hari menunjukkan kenaikan pH litosol dari 6,77 menjadi 7,13 pada semua perlakuan, kecuali biochar jengkok sebesar 7,40 (Tabel 23). Semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah mediteran sebesar 0,7 dari 5,77 menjadi 6,51 akan tetapi khususnya perlakuan biochar tongkok yang dicampur kompos serta biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang dapat menaikkan pH sebesar 0,95 unit menjadi 6,72.

Tabel 24. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.533	0.058	de	7.167	0.058	b	6.550	0.050	c
T	6.467	0.058	d	7.067	0.058	b	6.333	0.058	b
J	7.067	0.115	f	7.400	0.100	c	6.667	0.058	de
SA	6.100	0.100	ab	7.100	0.100	b	6.667	0.058	de
SK	6.367	0.058	c	7.167	0.153	b	6.333	0.058	b
TA	6.300	0.100	c	7.100	0.100	b	6.367	0.058	bc
TS	6.533	0.058	de	7.167	0.153	b	6.700	0.100	e
JA	6.867	0.058	e	7.200	0.100	b	6.733	0.058	e
JK	7.067	0.058	f	7.200	0.100	b	6.667	0.058	de
A	6.200	0.100	bc	7.067	0.058	b	6.433	0.058	bc
K	6.667	0.058	de	7.100	0.100	b	6.567	0.058	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi, semua perlakuan meningkatkan pH dari ketiga jenis tanah (Tabel 24). Kenaikan masing-masing pH regosol dari biochar sekam yang dicampur kompos maupun biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik. Kenaikan pH regosol dari 6,07 menjadi 7,00. Semua perlakuan meningkatkan pH tanah litosol dari 6,88 menjadi 7,13 sampai 7,37. Kenaikan pH tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dan biochar jengkok. Demikian pula yang terjadi pada tanah mediteran, kenaikan pH dari 5,80 menjadi 6,23 sampai 6,61. Kenaikan tertinggi dari perlakuan biochar sekam dan biochar tongkol.

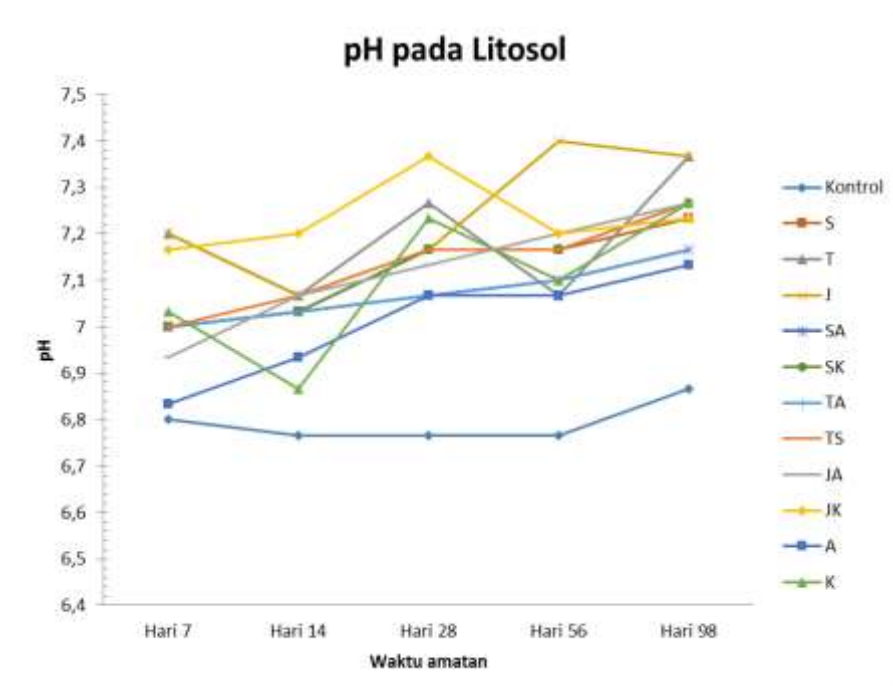
Tabel 25. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.867	0.115	A	5.800	0.100	a
S	6.467	0.153	bc	7.233	0.058	Bc	6.633	0.058	e
T	6.500	0.100	c	7.367	0.058	D	6.633	0.058	e
J	6.700	0.100	d	7.367	0.058	D	6.567	0.058	de
SA	6.600	0.100	cd	7.167	0.058	bc	6.333	0.058	bc
SK	6.900	0.100	e	7.267	0.058	cd	6.333	0.058	bc
TA	7.133	0.058	e	7.167	0.058	bc	6.500	0.000	de
TS	6.600	0.100	cd	7.267	0.058	cd	6.300	0.000	b
JA	6.533	0.058	c	7.267	0.058	cd	6.533	0.058	de
JK	6.567	0.058	c	7.233	0.058	bc	6.533	0.058	de
A	6.333	0.058	b	7.133	0.058	B	6.233	0.058	b
K	6.500	0.100	c	7.267	0.058	cd	6.467	0.058	cd

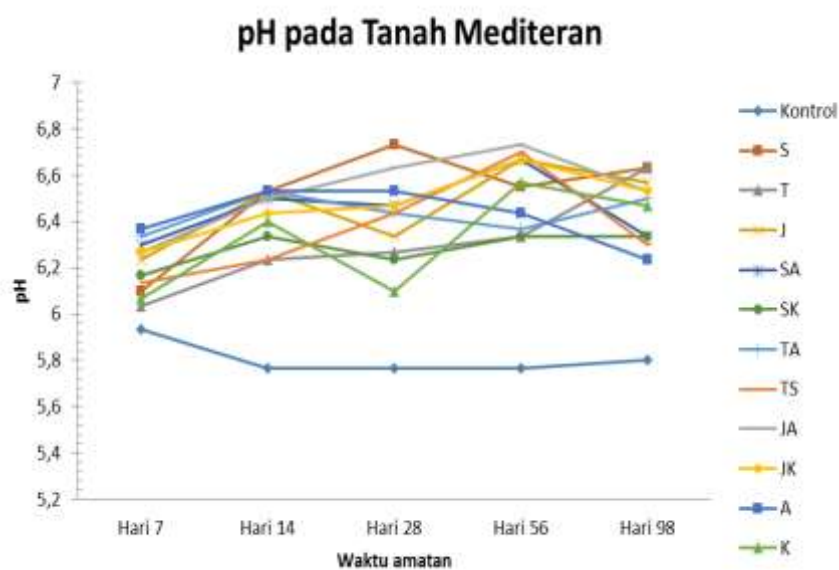
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

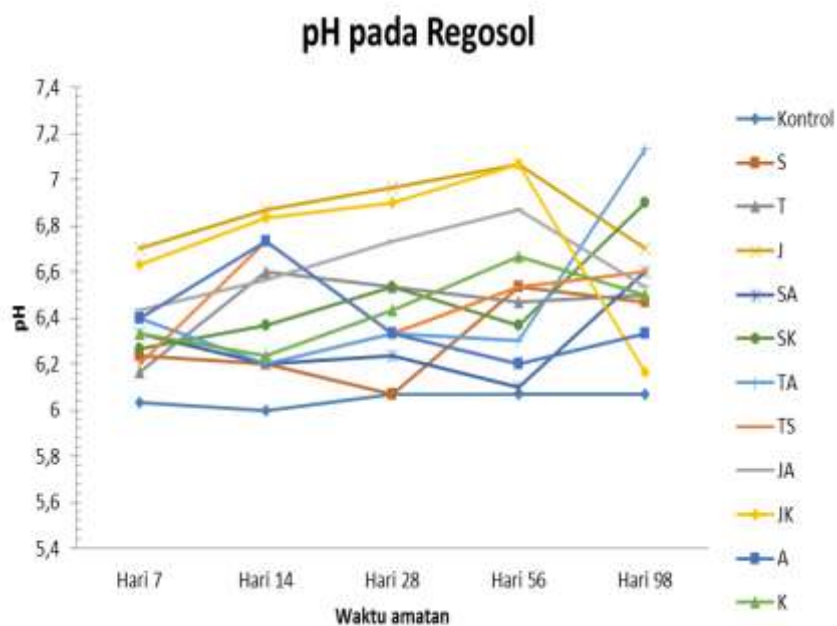
Dinamik pH dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. pH pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 8-10. Kenaikan dan penurunan pH akibat pemberian biochar dan pupuk organik pada ketiga jenis tanah dari waktu ke waktu.



Gambar 8. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah litosol



Gambar 9. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah mediteran



Gambar 10. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah regosol

5.7. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kejenuhan Basa (KB) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis dengan nested design kejenuhan basa disajikan pada Tabel 25, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kejenuhan basa disajikan pada Tabel 26-30.

Tabel 26. Hasil analisis nested design kejenuhan basa pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 25. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kejenuhan basa (KB) tanah

pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 21-25.

Hari 7

Inkubasi 7 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang (regosol) dan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya pupuk kandang (mediteran). Sedangkan pada litosol, semua perlakuan memberikan KB yang sama (Tabel 26).

Tabel 27. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	62.596	4.604	a	98.058	0.227	a	42.938	1.814	a
S	85.479	4.335	b	100.088	0.470	a	46.031	7.053	ab
T	81.804	1.277	b	97.920	3.282	a	50.440	1.131	ab
J	88.606	3.697	bcd	99.944	0.504	a	54.004	1.426	bcd
SA	99.185	1.395	d	99.737	0.151	a	44.213	1.600	ab
SK	85.208	6.834	bc	96.016	2.928	a	58.383	4.885	cd
TA	95.031	4.151	cd	96.583	2.377	a	58.667	1.722	cd
TS	92.991	9.081	bcd	96.475	1.504	a	64.562	3.305	d
JA	91.465	5.099	bcd	98.826	0.837	a	54.101	2.681	bcd
JK	97.792	5.677	cd	97.697	2.299	a	45.725	0.089	ab
A	91.513	1.721	bcd	96.570	1.561	a	64.436	2.418	d
K	84.588	4.844	bc	99.620	0.554	a	46.698	3.237	ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Inkubasi 14 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam (regosol) dan biochar jengkok tunggal tidak berbeda dengan yang dicampur kompos (mediteran). Akan tetapi pada litosol, KB menurun dengan pemberian pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang). Sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda dengan kontrol (Tabel 27).

Tabel 28. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	54.299	1.976	a	98.168	0.216	bc	43.295	0.389	a
S	77.633	3.014	b	99.990	0.708	c	70.708	0.589	d
T	86.989	1.204	e	99.694	0.893	c	67.092	1.903	c
J	93.000	0.637	h	98.666	2.835	bc	80.230	0.500	f
SA	81.914	2.177	c	100.289	0.213	c	73.591	1.616	de
SK	84.617	0.679	d	97.986	0.538	bc	63.286	2.182	b
TA	84.992	1.430	d	95.448	0.826	b	68.727	0.624	c
TS	91.331	0.098	gh	99.374	0.321	c	62.739	0.566	b
JA	88.934	2.923	ef	100.066	0.430	c	63.735	1.047	b
JK	89.950	1.633	fg	99.805	1.011	c	82.496	1.783	f
A	96.378	0.393	i	90.527	0.485	a	74.132	0.195	e
K	91.737	1.259	gh	88.150	0.346	a	72.035	1.172	de

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Inkubasi 28 hari menunjukkan KB tertinggi pada biochar jengkok (regosol) dan biochar sekam (mediteran). Sedangkan pada litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 28).

Tabel 29. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	52.399	2.267	a	98.441	0.621	ab	44.165	0.921	a
S	81.472	0.800	d	100.170	0.339	b	82.774	1.459	g
T	85.490	0.412	e	100.307	0.032	b	72.969	1.006	de
J	97.093	2.819	h	96.904	3.733	a	74.774	0.822	de
SA	71.701	2.076	b	99.698	0.028	ab	77.457	0.483	ef
SK	88.635	0.536	f	97.079	1.339	ab	68.702	1.527	c
TA	78.045	0.742	c	99.803	0.151	ab	74.385	0.649	de
TS	87.844	1.302	ef	99.381	1.136	ab	74.413	1.008	de
JA	88.843	0.308	f	99.534	0.689	ab	77.293	1.517	ef
JK	92.498	0.123	g	98.654	1.851	ab	76.852	0.656	ef
A	88.770	1.269	f	99.420	1.844	ab	78.808	0.404	f
K	89.272	6.333	f	99.528	0.171	ab	65.467	1.948	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Inkubasi 56 hari menunjukkan peningkatan KB yang bervariasi pada masing-masing jenis tanah maupun biochar-pupuk organik (Tabel 29). KB tertinggi pada biochar jengkok yang tidak berbeda ketika dicampur dengan pupuk kandang (regosol), biochar sekam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok yang dicampur kompos maupun kompos tunggal (litosol), dan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang (mediteran).

Tabel 30. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	51.830	2.360	a	98.029	0.261	bc	45.724	0.767	a
S	81.595	0.749	e	100.181	0.401	d	88.572	0.059	c
T	80.962	0.578	e	99.760	0.427	cd	83.992	0.731	b
J	99.057	0.852	g	99.514	0.714	cd	90.547	0.636	d
SA	75.439	0.396	d	99.375	0.543	cd	94.369	0.219	f
SK	69.887	1.857	c	99.604	1.034	cd	84.933	0.274	b
TA	63.012	0.234	b	97.064	0.709	a	84.440	1.644	b
TS	69.132	0.918	c	99.982	0.505	cd	90.620	0.075	d
JA	98.308	0.684	g	99.988	0.020	cd	94.126	1.778	f
JK	94.904	1.005	f	100.434	0.037	d	90.915	0.428	d
A	75.305	1.663	d	97.783	0.364	a	89.708	0.077	cd
K	93.541	1.016	f	100.328	0.088	d	92.513	0.365	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Sampai pengamatan terakhir (98 hari), KB tertinggi pada biochar sekam yang dicampur kompos (regosol) dan biochar tongkol (mediteran), sedangkan pada litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 30).

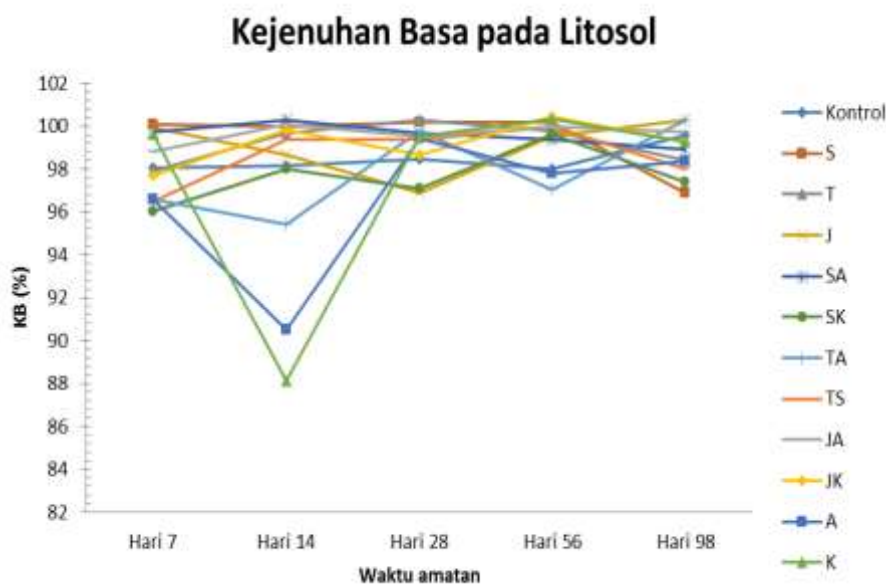
Dinamika KB dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. KB pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 25-30. Jenis tanah litosol menunjukkan KB dengan tren yang tidak melonjak naik atau turun dari waktu ke waktu, kecuali perlakuan kompos dan pupuk kandang (Gambar 25). Akan tetapi KB menunjukkan tren dengan lonjakan naik dan turun dari waktu ke waktu pada tanah mediteran. Tidak demikian dengan regosol yang sedikit ada peningkatan dan penurunan nilai KB pada 98 hari.

Tabel 31. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

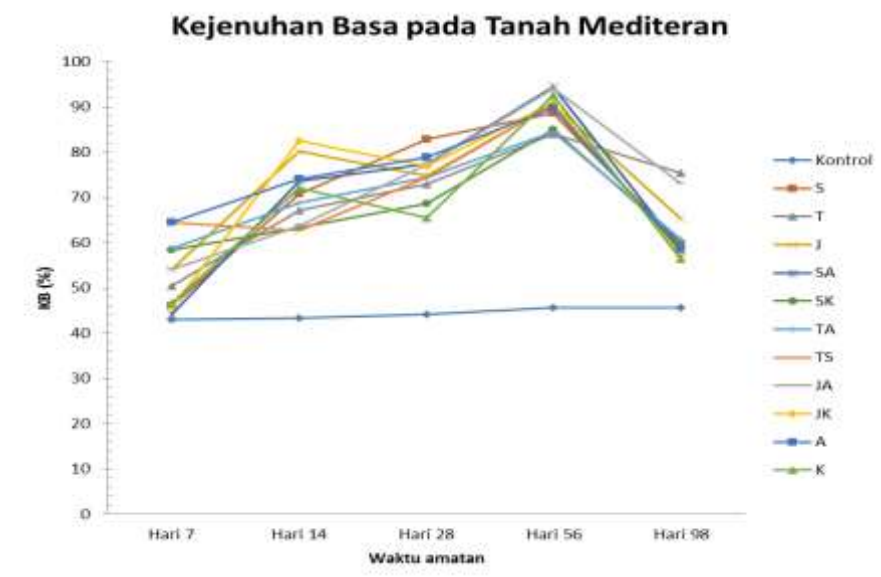
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	69.215	1.667	a	99.585	0.719	ab	45.728	0.892	a
S	86.690	1.867	f	96.900	1.860	a	59.482	1.684	b
T	78.517	7.085	cd	98.405	0.992	ab	75.408	3.213	e
J	73.762	1.723	b	100.297	0.072	b	65.347	3.102	d
SA	74.797	2.672	c	98.903	1.577	ab	58.382	5.042	b
SK	97.412	2.514	h	97.415	1.013	ab	59.969	3.586	b
TA	94.593	3.690	g	100.304	0.083	b	60.729	0.569	b
TS	82.869	4.791	de	98.006	2.788	ab	57.944	1.416	b
JA	69.437	5.756	ab	99.744	0.279	ab	73.008	3.907	c
JK	83.764	1.040	e	99.288	0.430	ab	57.112	2.073	b
A	86.985	1.347	f	98.374	1.685	ab	58.579	2.953	b
K	69.590	0.924	ab	99.291	0.963	ab	56.394	1.157	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

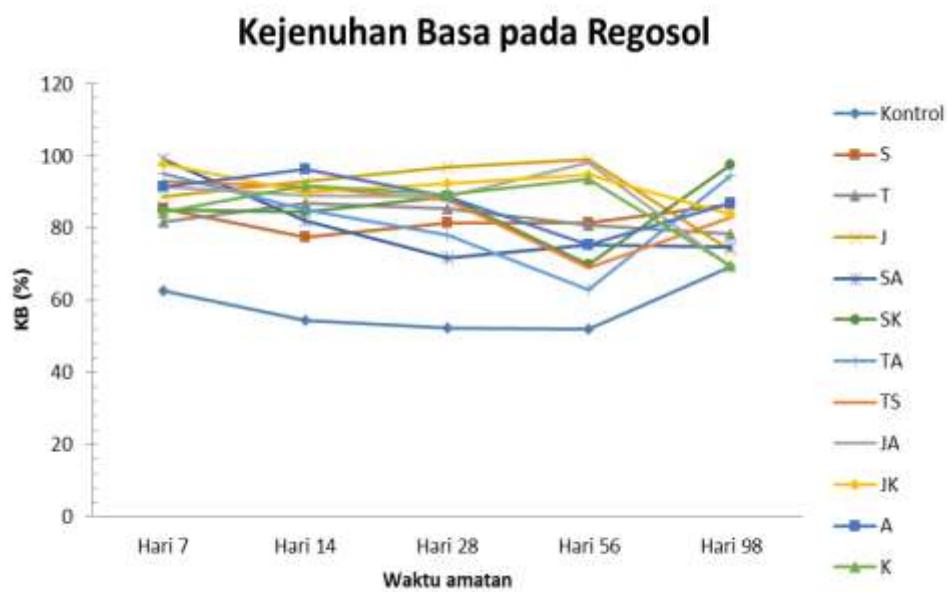
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 11. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah litosol



Gambar 12. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah mediteran



Gambar 13. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah regosol

5.8. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kation Basa pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis kation basa dengan nested design disajikan pada Tabel 31, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kation basa disajikan pada Tabel 32-36.

Tabel 32. Hasil analisis nested design dari kation basa pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 31. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kation basa pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 27-31.

Hari 7

Kation basa meningkat dengan perlakuan yang diberikan pada ketiga jenis tanah (Tabel 32). Inkubasi 7 hari pada regosol menunjukkan kenaikan kation basa yang kurang lebih sama, dari 7,3 me 100 g⁻¹ menjadi rata-rata 16,1 me 100 g⁻¹ baik biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran. Pada litosol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar jengkok yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk organik maupun kompos), sebesar 37,1 me 100 g⁻¹ tetapi lainnya rata-rata sebesar 33,9 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 23,7 me 100 g⁻¹ (kontrol). Kation basa tanah mediteran tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos, yaitu 28,8 me 100 g⁻¹ sedangkan lainnya 23,3 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 13,1 me 100 g⁻¹ (kontrol).

Hari 14

Inkubasi 14 hari pada regosol menunjukkan variasi kation basa dengan perlakuan yang diberikan. Kation basa tertinggi dari tanah lempung berpasir (regosol) berbeda dengan tanah liat, tetapi kation basa dari tanah liat (litosol dan mediteran) diperoleh dari perlakuan yang sama (biochar jengkok dicampur kompos). Tanah mediteran menunjukkan kenaikan kation basa yang lebih tinggi daripada litosol dari inkubasi 7 hingga 14 hari, yaitu dari 23,3 me 100 g⁻¹ menjadi 33,7 me 100 g⁻¹ (mediteran) serta dari 37,1 me 100 g⁻¹ menjadi 39 me 100 g⁻¹ (litosol) (Tabel 33).

Tabel 33. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	7.308	0.225	A	23.730	0.133	a	13.128	0.185	a
S	14.504	1.000	B	32.553	1.854	bc	19.840	1.196	b
T	15.185	0.279	bc	33.168	1.112	bc	20.902	3.657	b
J	16.915	0.266	C	35.546	0.226	cd	25.887	0.921	de
SA	16.149	2.145	bc	34.108	1.576	c	23.063	0.830	cd
SK	14.804	1.130	B	31.092	0.524	b	24.525	1.099	de
TA	17.661	1.105	C	34.475	3.595	c	26.276	1.693	ef
TS	17.423	2.651	C	31.026	0.906	b	28.818	1.723	f
JA	16.297	2.131	bc	37.079	1.884	d	26.643	0.745	ef
JK	17.168	1.494	C	37.118	0.970	d	23.328	0.496	cd
A	15.811	0.220	bc	35.976	0.687	cd	21.063	4.827	b
K	15.075	0.916	bc	36.969	2.059	cd	21.553	1.243	bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Inkubasi biochar jengkok pada regosol menunjukkan kation basa tertinggi diamati mulai 14 hari hingga 56 hari, tetapi pada litosol diamati mulai 14 hari hingga 98 hari. Pada 28 hari inkubasi di litosol menunjukkan bahwa kation basa tertinggi juga diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur dengan pupuk kandang ayam. Berbeda dengan mediteran, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos pada 28 hari inkubasi (Tabel 34).

Tabel 34. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.348	0.188	a	23.756	0.149	a	14.355	0.053	a
S	11.554	0.407	b	31.094	0.773	b	24.107	0.399	b
T	14.310	0.176	ef	32.068	0.411	c	24.648	0.614	bc
J	17.271	0.187	h	35.016	0.497	e	30.714	0.500	f
SA	13.539	0.081	de	32.087	0.105	c	29.178	0.633	ef
SK	14.121	0.066	ef	32.134	0.106	c	24.047	0.754	b
TA	12.820	0.213	cd	32.691	0.258	cd	27.898	0.220	d
TS	12.147	0.163	bc	30.825	0.215	b	24.773	0.215	bc
JA	13.846	0.137	e	36.423	0.281	f	25.012	0.387	c
JK	14.629	0.264	f	38.989	0.724	g	33.659	0.303	g
A	15.639	0.163	g	33.270	0.264	d	28.788	0.177	e
K	15.342	0.142	g	32.516	0.133	cd	29.926	0.345	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 35. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.126	0.242	a	23.823	0.302	a	14.385	0.102	a
S	11.781	0.100	c	29.182	0.085	c	28.132	0.313	e
T	13.266	0.278	de	31.583	0.110	d	26.908	0.389	d
J	14.336	0.309	f	34.130	0.345	e	26.216	0.250	c
SA	9.621	0.244	b	31.385	0.303	d	26.636	0.324	cd
SK	11.591	0.078	c	27.705	0.251	b	23.084	0.548	b
TA	12.391	0.053	c	34.141	0.205	e	26.108	0.266	c
TS	12.460	0.266	cd	31.879	0.329	d	28.408	0.375	f
JA	14.024	0.030	ef	31.667	0.416	d	26.863	0.675	cd
JK	11.994	0.205	c	29.643	0.375	c	27.821	0.228	ef
A	12.275	0.160	c	35.727	0.534	g	28.021	0.452	ef
K	13.487	0.244	de	36.345	0.110	g	23.604	0.702	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai pada inkubasi 56 hari, perlakuan biochar jengkok tembakau menunjukkan kation basa tertinggi pada masing-masing jenis tanah. Khususnya tanah mediteran, kation basa tertinggi juga dari perlakuan jengkok yang dicampur kompos (Tabel 35).

Tabel 36. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.060	0.251	a	23.723	0.208	a	14.385	0.102	a
S	10.878	0.089	c	29.915	0.065	d	24.415	0.065	b
T	13.601	0.017	h	30.625	0.608	e	31.737	0.259	f
J	14.153	0.292	i	31.240	0.122	f	32.695	0.210	g
SA	13.025	0.048	fg	28.353	0.136	b	31.921	0.034	f
SK	11.552	0.181	de	28.723	0.187	b	28.994	0.109	c
TA	9.494	0.064	b	29.210	0.209	c	30.202	0.629	d
TS	11.982	0.177	e	32.882	0.083	h	30.165	0.009	d
JA	13.653	0.203	hi	29.878	0.904	d	30.423	0.566	d
JK	12.660	0.100	f	30.868	0.086	e	32.570	0.165	g
A	13.175	0.065	gh	32.123	0.127	g	30.586	0.019	d
K	11.160	0.099	cd	30.816	0.031	e	31.146	0.151	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), menunjukkan bahwa kation basa terbaik pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam secara tunggal maupun yang dicampur biochar tongkol, yaitu sebesar 16,5 me 100 g⁻¹. Kation basa tertinggi pada litosol diperoleh dari pupuk kandang ayam yang dicampur dengan ketiga jenis biochar. Khususnya biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk kandang ayam ataupun kompos) menunjukkan kation basa yang juga tertinggi. Tetapi pada tanah mediteran, kation basa pada pupuk kandang ayam yang dicampur biochar jengkok terbaik pada inkubasi 98 hari (Tabel 36).

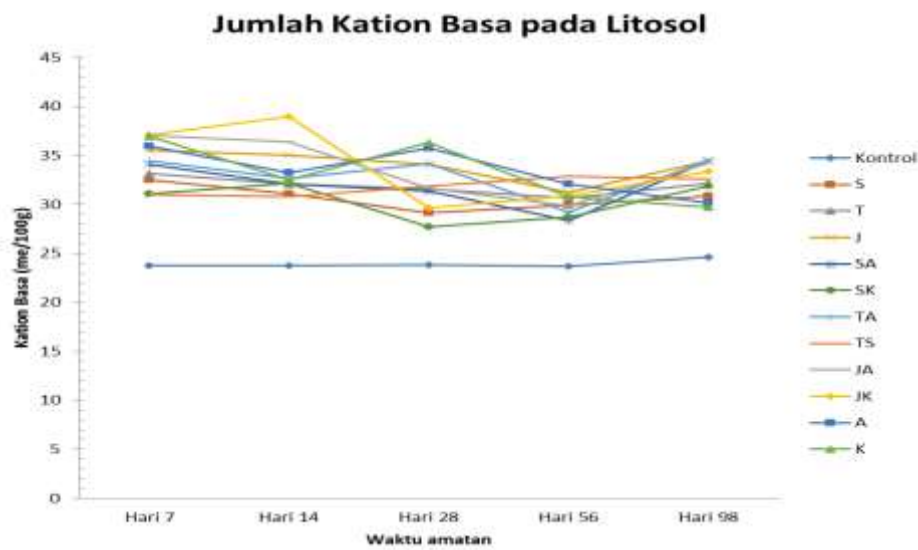
Tabel 37. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.045	0.369	a	24.613	0.593	a	14.386	0.142	a
S	15.333	1.078	f	30.907	0.486	c	22.572	0.725	f
T	13.823	0.863	e	32.168	0.600	ef	26.343	0.997	h
J	13.526	0.876	e	34.469	0.663	g	21.786	0.659	e
SA	11.789	0.973	c	34.487	0.238	g	24.127	1.730	g
SK	15.196	0.405	g	31.882	0.259	e	19.297	0.734	b
TA	16.919	0.701	h	34.552	1.156	g	21.049	0.226	d
TS	12.680	0.419	d	32.573	0.435	f	21.459	0.456	de
JA	11.949	0.394	c	34.243	0.405	g	27.326	1.141	i
JK	10.973	0.297	b	33.393	0.343	g	21.701	0.731	e
A	16.433	0.404	h	30.125	0.263	b	20.712	0.723	c
K	12.035	0.217	c	29.753	1.183	b	19.090	0.531	b

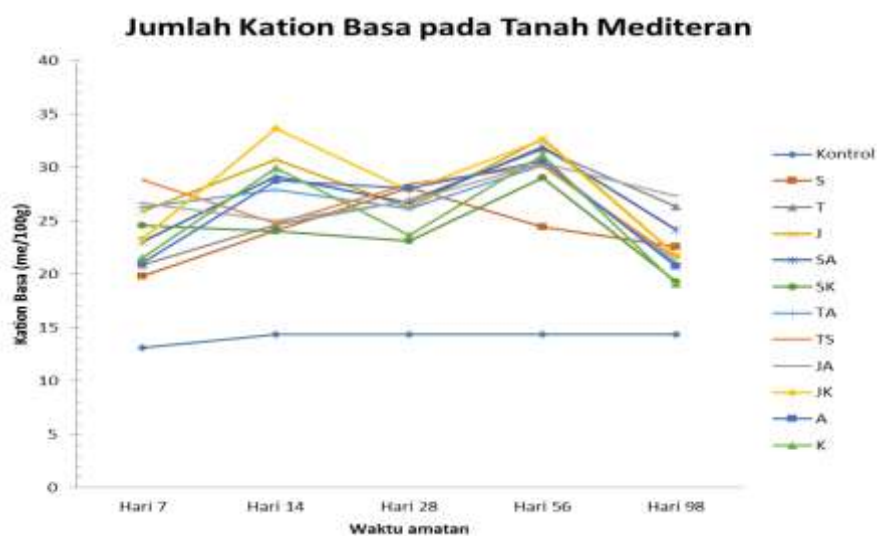
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

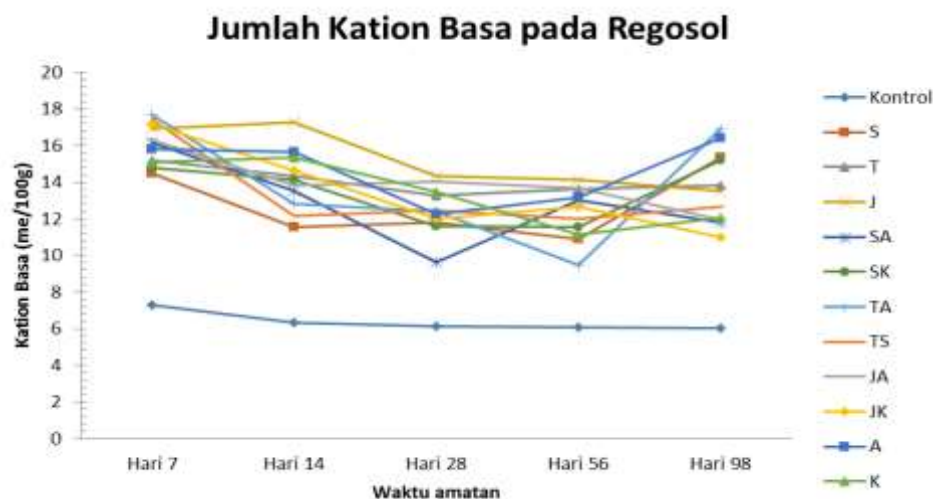
Dinamika kation basa dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar kation basa pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 14-16. Perubahan kadar kation basa meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar kation basa cenderung tetap (litosol). Kadar kation basa cenderung naik dan turun dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya (mediteran). Kadar kation basa cenderung tetap sampai 56 hari sesudah itu meningkat khususnya pupuk kandang sampai 98 hari (regosol).



Gambar 14. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah litosol



Gambar 15. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah mediteran



Gambar 16. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah regosol

5.9. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Nitrogen pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

DeLuca *et al.* (2009) menjelaskan secara umum biochar lebih penting untuk modifikasi tanah dan transformasi hara, serta kurang berarti sebagai sumber utama nutrisi. Biochar yang berasal bahan baku dari kotoran dan produk-hewan relatif kaya nutrisi bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Kondisi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisiko-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan nutrisi dalam biochar setiap tanaman.

Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6% ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800°C (Bagreev *et al.*, 2001). Kadar nitrogen yang ada di dalam tanah bervariasi dengan perlakuan dan jenis tanah. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 37, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Tabel 38-42.

Tabel 38. Hasil analisis nested design kadar N tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 37. menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar N tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar N tanah pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 38-42.

Inkubasi Hari 7

Pada inkubasi 7 hari, perlakuan pupuk kandang ayam telah meningkatkan kadar N tanah regosol 2 kali lebih tinggi dari 0,08% menjadi 0,19% sedangkan pada litosol hampir 4 kali lebih tinggi dari 0,14% menjadi 0,51%. Kadar N dari perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang) meningkat hampir 2 kali lebih tinggi. Kandungan N dari pupuk kandang (4,05%) tertinggi selanjutnya diikuti kompos (2,6%) dan biochar jengkok (1,83%). Kenaikan kadar N tanah regosol dan litosol berlangsung selama 7 hari. Namun pada inkubasi yang sama belum terjadi kenaikan kadar N pada tanah mediteran dari semua perlakuan (Tabel 38). Kenaikan kadar N tanah mediteran terjadi pada 14 hari inkubasi dengan perlakuan kompos (Tabel 39).

Tabel 39. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.079	0.002	a	0.136	0.012	a	0.103	0.006	a
S	0.094	0.006	ab	0.148	0.010	a	0.101	0.002	a
T	0.109	0.005	ab	0.215	0.014	ab	0.127	0.012	a
J	0.113	0.011	ab	0.254	0.018	b	0.124	0.003	a
SA	0.123	0.005	ab	0.200	0.011	ab	0.132	0.008	a
SK	0.102	0.002	ab	0.199	0.004	ab	0.129	0.010	a
TA	0.122	0.014	ab	0.217	0.008	ab	0.114	0.027	a
TS	0.105	0.010	ab	0.194	0.014	ab	0.132	0.002	a
JA	0.124	0.006	ab	0.251	0.016	b	0.118	0.011	a
JK	0.129	0.003	ab	0.229	0.022	b	0.130	0.020	a
A	0.185	0.011	b	0.513	0.298	c	0.136	0.026	a
K	0.124	0.008	ab	0.233	0.011	b	0.144	0.034	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Pada inkubasi 14-28 hari, kadar N tanah regosol dari perlakuan biochar jengkok meningkat 2 kali lebih tinggi. Pada inkubasi 14 hari, kadar N tanah litosol pada perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur kompos hampir 2 kali lebih tinggi dari kontrol. Hal yang sama terjadi pada perlakuan biochar tongkol jagung pada litosol dan mediteran. Khususnya mediteran, kadar N tertinggi dari pemberian kompos pada inkubasi 14 hari (Tabel 39). Hal ini menunjukkan kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Banyaknya N yang dikandung dalam biochar menentukan kemampuan tanah meningkatkan kadar N dalam tanah. Nitrogen merupakan unsur hara makro utama dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^+) yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak.

Tabel 40. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.073	0.000	a	0.118	0.007	a	0.093	0.000	a
S	0.117	0.021	b	0.124	0.006	a	0.135	0.000	b
T	0.115	0.013	b	0.224	0.013	d	0.206	0.003	d
J	0.159	0.030	c	0.234	0.000	d	0.194	0.016	d
SA	0.121	0.018	b	0.170	0.011	b	0.126	0.004	b
SK	0.092	0.008	ab	0.180	0.004	b	0.113	0.007	ab
TA	0.095	0.012	ab	0.184	0.012	b	0.162	0.023	c
TS	0.107	0.009	ab	0.173	0.010	b	0.115	0.004	ab
JA	0.112	0.007	b	0.194	0.024	bc	0.123	0.006	b
JK	0.126	0.022	b	0.248	0.047	d	0.117	0.005	ab
A	0.126	0.021	b	0.193	0.010	bc	0.217	0.005	de
K	0.101	0.026	ab	0.219	0.004	cd	0.245	0.029	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Hingga 28 hari inkubasi, kadar N tanah litosol tertinggi pada biochar jengkok yang dicampur kompos selanjutnya diikuti dengan yang dicampurkan pupuk kandang maupun biochar tongkol. Kadar N tanah mediteran tertinggi pada perlakuan pupuk kandang yang dicampur biochar sekam maupun biochar jengkok. Hasil yang sama juga pada pemberian kompos (Tabel 40). Perlakuan campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 41. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a
S	0.081	0.007	a	0.167	0.010	b	0.111	0.007	b
T	0.125	0.023	de	0.274	0.035	e	0.116	0.006	bc
J	0.140	0.005	e	0.241	0.006	d	0.112	0.000	b
SA	0.090	0.015	b	0.181	0.006	b	0.165	0.017	e
SK	0.107	0.010	b	0.202	0.007	c	0.113	0.006	b
TA	0.111	0.000	cd	0.207	0.004	c	0.132	0.007	cd
TS	0.110	0.008	cd	0.207	0.006	c	0.140	0.006	cde
JA	0.115	0.003	cd	0.270	0.019	e	0.156	0.015	e
JK	0.115	0.003	cd	0.315	0.004	f	0.150	0.007	de
A	0.115	0.001	cd	0.190	0.000	c	0.125	0.003	bc
K	0.106	0.004	b	0.194	0.000	c	0.160	0.009	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pemberian biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik menunjukkan kadar N tanah regosol tertinggi. Kemampuan biochar jengkok lebih lama dalam meningkatkan kadar N tanah regosol, sejak inkubasi hari ke-14 hingga hari ke-56. Tidak demikian dengan peningkatan kadar N tanah regosol dengan pupuk kandang ayam yang hanya terjadi pada inkubasi 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Namun kadar N tanah litosol tertinggi pada pemberian pupuk kandang, selanjutnya diikuti oleh biochar jengkok maupun kompos. Kadar N tanah mediteran tertinggi dari perlakuan kompos yang diikuti oleh perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur pupuk kandang (Tabel 41). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 42. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a
S	0.085	0.005	b	0.116	0.005	a	0.135	0.005	cd
T	0.095	0.005	b	0.157	0.006	b	0.116	0.006	b
J	0.128	0.007	c	0.218	0.017	d	0.149	0.010	de
SA	0.092	0.007	b	0.162	0.007	bc	0.120	0.010	bc
SK	0.092	0.008	b	0.151	0.010	b	0.098	0.007	a
TA	0.096	0.005	b	0.200	0.010	d	0.110	0.009	a
TS	0.093	0.006	b	0.181	0.010	cd	0.097	0.006	a
JA	0.128	0.007	c	0.167	0.006	bc	0.151	0.012	de
JK	0.130	0.010	c	0.178	0.004	cd	0.120	0.009	bc
A	0.097	0.006	b	0.246	0.025	e	0.129	0.009	bc
K	0.090	0.010	b	0.209	0.012	d	0.168	0.007	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (Tabel 42), kadar N tanah tertinggi pada biochar tongkok dicampur pupuk kandang (regosol), biochar jengkok (litosol), dan biochar jengkok dicampur pupuk kandang (mediteran).

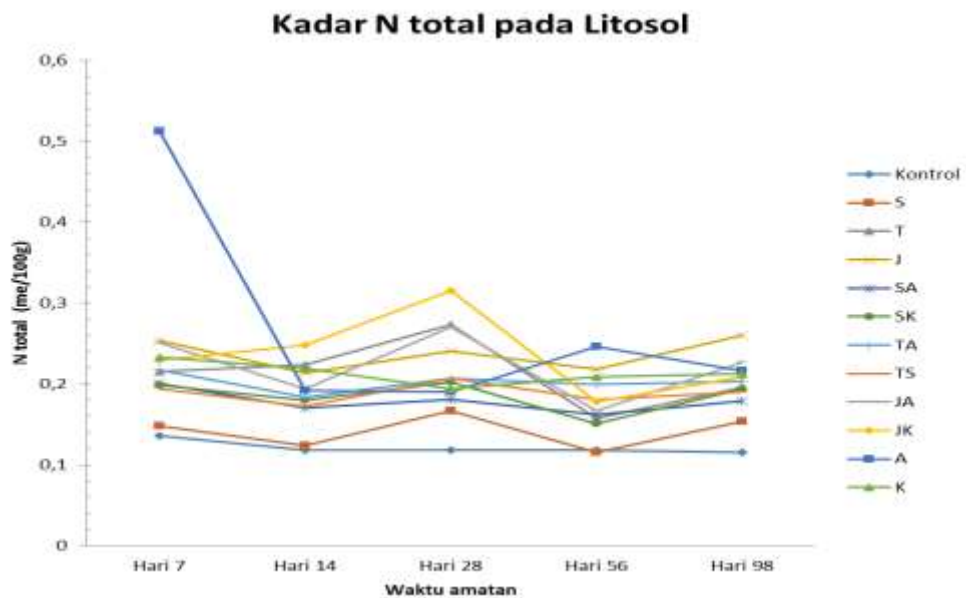
Dinamika kadar N dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar N pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 17-19. Perubahan kadar N meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar N cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang yang melonjak turun pada 14 hari (litosol). Kadar N meningkat pada 14 hari dan cenderung tetap sampai 98 hari (mediteran). Kadar N cenderung tetap sampai 56 hari dan tetap ataupun meningkat pada 98 hari kecuali pupuk kandang yang melonjak turun dan biochar jengkok yang melonjak naik pada 14 hari (regosol).

Tabel 43. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

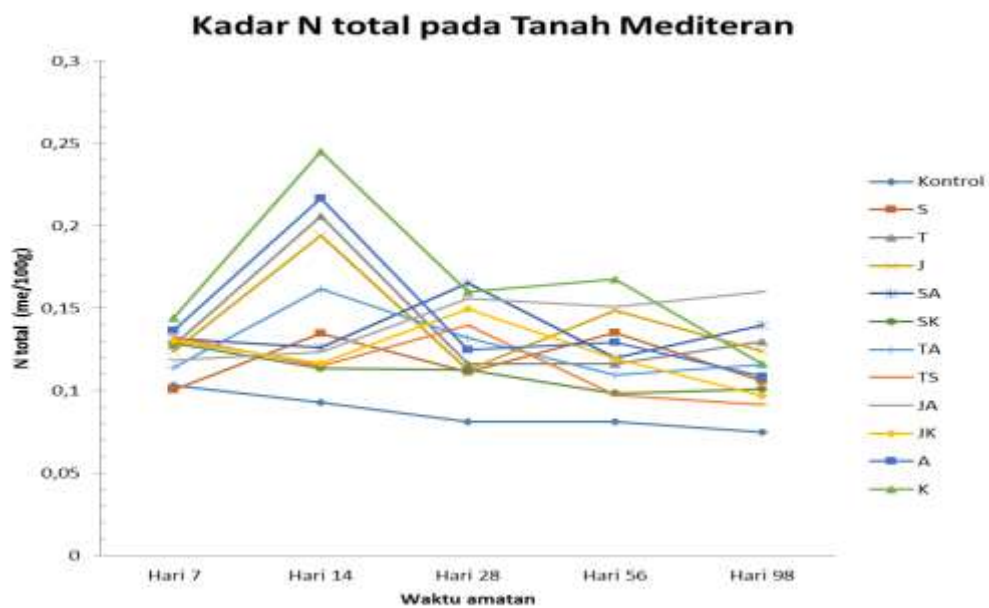
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.115	0.005	a	0.075	0.018	a
S	0.098	0.007	b	0.154	0.005	b	0.106	0.015	bc
T	0.097	0.006	b	0.196	0.005	cd	0.130	0.010	e
J	0.099	0.002	b	0.260	0.010	g	0.124	0.005	de
SA	0.096	0.005	b	0.179	0.009	c	0.140	0.010	e
SK	0.130	0.010	c	0.194	0.007	cd	0.101	0.010	bc
TA	0.150	0.010	d	0.203	0.015	de	0.116	0.005	cd
TS	0.096	0.005	b	0.190	0.010	cd	0.092	0.012	b
JA	0.097	0.006	b	0.227	0.015	f	0.160	0.010	f
JK	0.093	0.011	b	0.209	0.010	de	0.097	0.015	b
A	0.082	0.014	ab	0.216	0.015	ef	0.108	0.008	bc
K	0.088	0.011	ab	0.212	0.007	ef	0.116	0.005	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

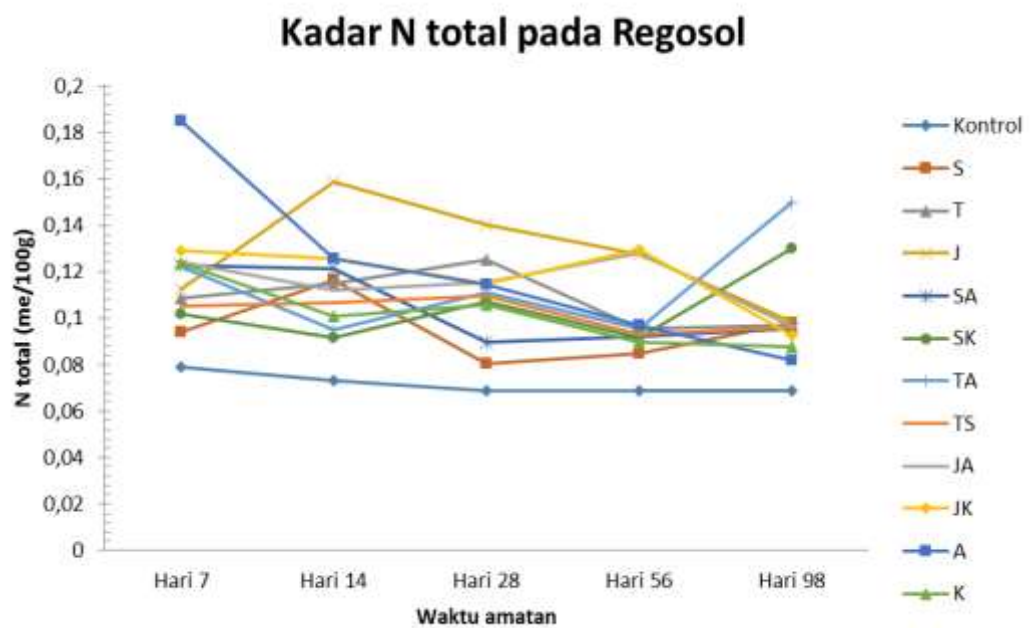
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 17. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah litosol



Gambar 18. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah mediteran



Gambar 19. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah regosol

6.0. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Phosfor pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan nutrisi, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Hasil analisis dengan nested design kadar P disajikan pada Tabel 43, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kadar P disajikan pada Tabel 44-48.

Tabel 44. Hasil analisis nested design kadar P tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 43 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar P tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 44-48.

Hari 7

Inkubasi hari ke-7 menunjukkan bahwa kadar P tanah meningkat dengan semua perlakuan pada ketiga jenis tanah. Pemberian pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan kadar P tanah regosol dan mediteran, sedangkan pada litosol pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam. Peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar

P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tanah meningkat dengan campuran pupuk kandang ayam dan biochar berbagai jenis (Tabel 44). Peningkatan kadar P tanah regosol sebesar 2 kali lebih tinggi dari 25,03 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 51,38 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 1,6 kali lipat lebih tinggi dari 28,77 (biochar tongkol) menjadi 46,09 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah litosol sebesar 2,5 kali lebih tinggi dari 22,64 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 57,53 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 2,3 kali lebih tinggi dari 28,02 (biochar tongkol) menjadi 63,25 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah mediteran sebesar 3,7 kali lebih tinggi dari 1,92 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 7,12 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang); 1,3 lebih tinggi dari 8,32 mg kg⁻¹ (biochar tongkol) menjadi 10,88 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang); dan 5,4 kali lebih tinggi dari 3,79 mg kg⁻¹ (biochar jengkok) menjadi 20,40 mg kg⁻¹ (biochar jengkok+pupuk kandang).

Pupuk kandang ayam mengandung P sebesar 11,62% yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Selanjutnya kompos mengandung P sebesar 3,87% dan biochar sekam mengandung P sebesar 0,14%. Biochar tongkol dan biochar jengkok mengandung P yang kurang lebih sama, yaitu 0,44-0,46%.

Tabel 45. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	25.034	2.281	b	22.640	0.749	b	1.916	0.381	a
T	28.769	1.518	b	28.017	6.111	bc	8.312	2.258	ab
J	36.584	1.907	bc	45.788	2.232	de	3.792	0.000	ab
SA	51.378	4.402	de	57.526	5.901	ef	7.120	1.412	ab
SK	26.115	1.562	b	40.870	0.000	cd	3.912	1.680	ab
TA	46.090	8.729	cd	63.249	7.317	f	10.878	3.157	ab
TK	26.365	0.754	b	26.731	0.000	bc	3.840	0.763	ab
JA	33.415	1.460	bc	51.871	6.941	de	20.403	1.305	bc
JK	31.340	9.450	b	44.948	3.834	de	3.739	0.769	a
A	61.375	4.434	e	54.592	1.130	ef	37.316	3.134	c
K	32.188	2.954	b	25.047	2.393	b	8.564	2.168	ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, kadar P masing-masing tanah meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik (Tabel 45). Peningkatan tertinggi dengan pemberian pupuk kandang sebesar 15,5 kali lipat (regosol); 14 kali lipat (litosol); dan 76,6 kali lipat (mediteran) dibanding kontrol. Campuran biochar dan pupuk kandang menghasilkan kadar P yang lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar pada regosol dan litosol. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada regosol meningkat 2,4 kali (sekam); 1,4 kali (tongkol); dan 1,3 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada litosol meningkat 2,5 kali (sekam); 1,3 kali (tongkol); dan 1,5 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Pada tanah mediteran campuran biochar sekam dan pupuk kandang tidak lebih baik daripada biochar sekam maupun pupuk kandang yang tidak dicampur. Namun demikian campuran biochar (tongkol maupun jengkok) dan pupuk kandang masih lebih tinggi daripada hanya menggunakan biocharnya. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada mediteran meningkat 1,7 kali (tongkol) dan 1,1 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Ketiga jenis tanah menunjukkan kadar P tertinggi pada perlakuan pupuk kandang

Tabel 46. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	24.449	0.231	c	29.080	0.110	d	15.450	0.563	e
T	25.503	0.542	c	46.590	0.401	f	25.594	0.570	h
J	30.660	0.303	d	35.160	0.470	d	21.450	0.489	f
SA	58.447	0.480	h	71.683	0.710	j	10.661	0.364	d
SK	55.050	0.862	g	26.260	0.765	c	4.633	0.150	c
TA	34.853	0.366	e	61.873	0.987	i	42.583	0.355	i
TK	21.397	0.532	b	23.760	0.800	b	3.742	0.025	b
JA	40.889	0.153	f	51.763	0.845	g	24.117	0.000	g
JK	24.743	0.451	c	55.250	0.770	h	3.031	0.013	b
A	69.763	0.225	i	111.693	1.900	k	122.567	0.531	j
K	24.058	0.800	c	41.580	0.000	e	30.349	0.169	h

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Perlakuan pupuk kandang ayam menghasilkan kadar P tertinggi pada regosol dan litosol sampai 28 hari inkubasi. Akan tetapi perlakuan campuran biochar sekam dan pupuk kandang pada tanah mediteran menunjukkan kadar P terbaik. Secara umum kadar P dari campuran biochar dan pupuk kandang masih lebih baik daripada perlakuan biochar secara tunggal (Tabel 46).

Tabel 47. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	28.993	0.317	e	28.993	0.317	e	6.161	0.060	c
T	33.423	0.561	g	33.423	0.561	g	7.549	0.021	d
J	29.113	0.101	ef	29.113	0.101	ef	9.110	0.017	e
SA	27.711	0.176	d	27.711	0.176	d	71.679	0.361	k
SK	25.675	0.655	c	25.675	0.655	c	4.464	0.264	b
TA	40.501	0.513	h	40.501	0.513	h	12.178	0.056	g
TK	24.377	0.556	b	24.377	0.556	b	9.090	0.042	e
JA	40.890	0.184	h	40.890	0.184	h	25.620	0.650	j
JK	24.737	0.770	bc	24.737	0.770	bc	16.630	0.222	h
A	84.165	0.804	i	84.165	0.804	i	21.700	0.276	i
K	30.140	1.253	f	30.140	1.253	f	12.145	0.018	g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Kadar P tanah pada inkubasi hari ke-14 tidak berbeda dengan hari ke-56, yaitu perlakuan pupuk kandang terbaik pada ketiga jenis tanah. Kadar P tanah juga lebih baik dari perlakuan campuran biochar dan pupuk kandang daripada perlakuan biochar tunggal (Tabel 47).

Tabel 48. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	10.737	0.046	d	11.402	0.187	b	10.737	0.046	d
T	12.908	0.016	fg	19.149	0.026	f	12.908	0.016	e
J	13.289	0.022	h	25.716	0.107	h	13.289	0.022	f
SA	14.703	0.136	i	23.729	0.170	g	14.703	0.136	g
SK	8.684	0.259	c	14.969	0.040	d	8.684	0.259	c
TA	10.607	0.177	d	36.852	0.083	h	10.607	0.177	d
TK	13.083	0.006	gh	12.184	0.029	c	13.083	0.006	ef
JA	20.907	0.059	j	86.935	0.065	j	20.907	0.059	h
JK	6.037	0.055	b	17.689	0.106	e	6.037	0.055	b
A	25.878	0.025	k	97.141	0.150	k	25.878	0.025	i
K	11.673	0.025	e	52.847	0.061	i	11.673	0.025	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), kadar P tanah regosol terbaik pada perlakuan biochar sekam padi, sedangkan litosol terbaik pada perlakuan campuran biochar jengkok dan pupuk kandang. Khususnya pupuk kandang, kadar P tanah mediteran masih terbaik sejak 56 hingga 98 hari inkubasi (Tabel 48).

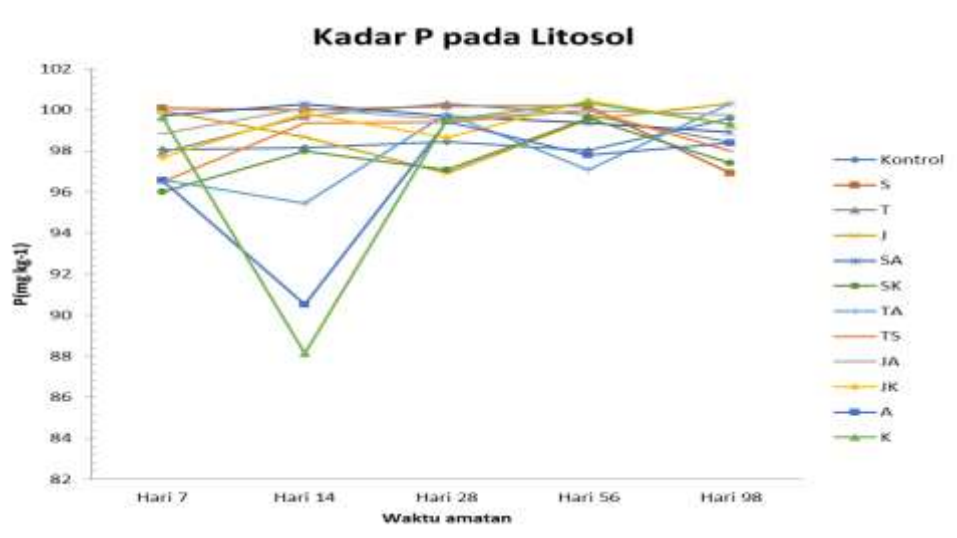
Dinamika kadar P dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar P pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 20-22. Perubahan kadar P meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar P cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang dan kompos yang melonjak turun kemudian naik pada inkubasi 14 hari (litosol). Kadar P meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (mediteran). Kadar P cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan ataupun penurunan pada 98 hari (regosol).

Tabel 49. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

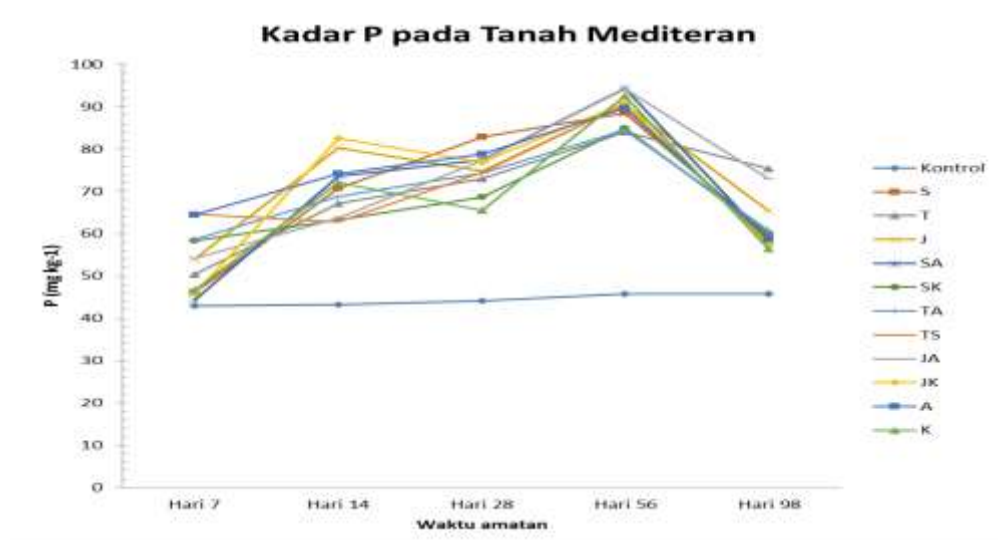
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	3.805	0.028	a	1.604	0.063	a
S	76.482	1.351	i	11.362	0.052	b	5.313	0.170	c
T	39.626	0.701	g	22.363	0.061	e	14.653	0.323	g
J	15.197	0.876	c	41.828	0.037	g	7.357	0.160	d
SA	15.372	0.502	c	45.871	0.110	h	22.688	0.806	i
SK	40.027	1.101	g	21.736	0.229	de	3.200	0.281	b
TA	22.427	0.639	d	40.183	0.087	g	9.036	0.067	e
TK	25.513	1.600	f	15.237	0.253	c	12.032	0.075	f
JA	24.103	1.154	e	80.162	0.120	j	22.330	0.452	h
JK	46.607	0.500	h	20.537	0.101	d	5.587	0.282	c
A	13.502	0.610	b	67.518	0.063	i	28.202	0.948	j
K	13.495	0.539	b	25.579	0.130	f	13.043	0.124	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

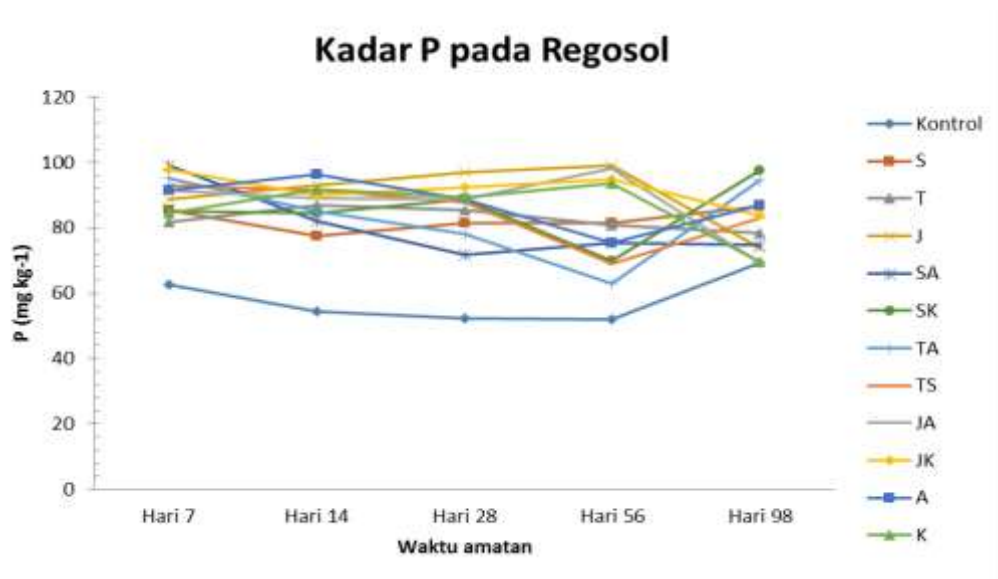
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 20. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah litosol



Gambar 21. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah mediteran



Gambar 22. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah regosol

6.1. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Kalium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 49, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 50-54.

Tabel 50. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 49 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar K tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 50-54.

Hari 7

Setiap jenis biochar mengandung kalium yang berbeda jumlahnya. Kadar K biochar sekam $<$ biochar tongkol $<$ biochar jengkok. Biochar memiliki kadar kalium yang lebih tinggi daripada pupuk organik. Kadar K dari pupuk kandang ayam $>$ kompos. Inkubasi selama 7 hari telah menunjukkan perubahan kadar K dalam tanah penelitian. Pada awal penelitian ketiga jenis tanah memiliki kadar K sebesar 0,34-0,36 me/100g. Semua perlakuan meningkatkan kadar K. Perlakuan kompos menghasilkan kadar K tertinggi pada regosol dan mediteran, namun pada litosol pada perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar K pada kompos paling rendah sedangkan biochar jengkok paling tinggi dibandingkan biochar maupun pupuk kandang ayam. Oleh karenanya pemberian kompos hanya menunjukkan kadar K tertinggi di awal inkubasi. Ketiga jenis biochar mengandung kalium yang berbeda tetapi menunjukkan kadar K yang sama pada tanah mediteran saat inkubasi 7 hari. Hal ini berbeda dengan dua jenis tanah lainnya, kadar K dalam tanah regosol dan

litosol sebanding dengan banyaknya K dalam biochar. Selanjutnya kadar K bervariasi dengan jenis tanah dan pemberian biochar-pupuk organik.

Tabel 51. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.900	0.033	b	1.279	0.063	b	0.880	0.016	b
T	1.631	0.084	cd	2.204	0.616	cd	0.719	0.065	b
J	1.852	0.068	d	3.082	0.055	f	0.935	0.068	b
SA	1.342	0.052	c	1.901	0.134	c	0.976	0.006	bc
SK	0.927	0.137	b	1.856	0.127	c	1.044	0.129	bc
TA	1.476	0.167	cd	2.398	0.033	d	1.782	0.015	d
TK	1.871	0.459	d	2.780	0.166	ef	1.832	0.104	d
JA	1.647	0.136	cd	2.929	0.208	f	1.948	0.467	d
JK	1.740	0.135	cd	2.414	0.385	de	1.798	0.046	d
A	1.892	0.267	d	2.395	0.347	de	1.335	0.309	c
K	2.490	0.489	e	2.790	0.234	ef	2.483	0.245	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar K ketiga jenis tanah meningkat dengan aplikasi biochar-pupuk organik. Biochar jengkok menunjukkan kadar K tertinggi pada regosol mulai 14 hingga 56. Biochar tongkol yang dicampur kotoran ayam merupakan perlakuan tertinggi pada tanah mediteran pada inkubasi 14 hari. Pada litosol terdapat empat perlakuan yang menghasilkan kadar K yang sama, yaitu aplikasi biochar tongkol tunggal maupun yang dicampur pupuk organik, biochar jengkok yang dicampur kotoran ayam. Pada inkubasi 14 hari, pemberian campuran biochar dan pupuk organik cenderung memberikan kadar K yang lebih banyak daripada pemberian secara tunggal pada ketiga jenis tanah.

Tabel 52. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.730	0.015	d	0.928	0.024	c	0.604	0.008	b
T	0.577	0.014	b	1.851	0.046	i	1.270	0.044	e
J	1.859	0.062	j	1.250	0.032	f	1.078	0.015	d
SA	0.974	0.018	e	0.746	0.005	b	0.758	0.019	c
SK	0.664	0.004	c	1.683	0.007	h	0.977	0.015	d
TA	1.606	0.004	h	1.869	0.024	i	1.501	0.098	h
TS	1.120	0.118	f	1.856	0.054	i	1.453	0.071	g
JA	1.643	0.006	i	1.853	0.036	i	1.352	0.029	f
JK	1.078	0.043	f	1.175	0.010	e	1.034	0.135	j
A	0.989	0.009	e	1.466	0.015	g	1.258	0.010	e
K	1.599	0.017	g	1.035	0.013	d	1.951	0.030	i

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada 28 hari inkubasi, kadar K terbaik dari biochar tongkol yang tidak berbeda dengan biochar jengkok pada regosol. Pada litosol, perlakuan biochar tongkol juga menunjukkan kadar K tertinggi, tetapi berbeda pada tanah mediteran. Tanah mediteran menunjukkan kadar K tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam.

Tabel 53. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.828	0.102	c	0.931	0.047	b	0.672	0.066	b
T	1.279	0.233	e	2.010	0.010	g	0.773	0.099	bc
J	1.264	0.177	e	1.463	0.238	ef	0.882	0.042	cd
SA	0.663	0.047	b	0.958	0.059	b	1.153	0.011	ef
SK	0.838	0.020	c	1.132	0.032	bc	0.679	0.114	b
TA	1.061	0.030	d	1.494	0.096	ef	0.950	0.046	d
TS	0.925	0.085	cd	1.336	0.108	de	1.030	0.043	de
JA	1.060	0.034	d	1.251	0.028	cd	1.092	0.082	de
JK	1.050	0.030	d	1.673	0.055	f	1.165	0.018	ef
A	1.065	0.035	d	1.215	0.016	cd	1.325	0.051	g
K	1.123	0.010	de	1.114	0.006	bc	1.241	0.033	fg

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Seperti inkubasi sebelumnya, biochar jengkok menghasilkan kadar K tertinggi. Kadar K tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dicampur pupuk kandang ayam (litosol) serta pupuk kandang ayam (mediteran).

Tabel 54. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 51

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.769	0.036	b	0.910	0.011	b	0.635	0.015	c
T	1.328	0.010	i	1.487	0.021	g	0.757	0.004	d
J	1.540	0.053	j	1.672	0.012	i	0.984	0.014	h
SA	0.975	0.031	c	0.968	0.040	b	0.655	0.031	c
SK	1.035	0.022	d	0.955	0.022	b	0.544	0.041	b
TA	1.161	0.036	e	1.759	0.011	j	0.915	0.015	f
TS	1.076	0.026	d	1.159	0.036	d	0.774	0.015	e
JA	1.288	0.024	h	1.370	0.045	f	0.954	0.025	g
JK	1.177	0.024	f	1.083	0.031	c	0.913	0.012	f
A	1.022	0.070	d	1.585	0.017	h	1.075	0.023	i
K	1.225	0.071	g	1.290	0.018	e	0.954	0.012	g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir pengamatan (98 hari), aplikasi biochar dan pupuk organik masih meningkatkan kadar K dalam tanah. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K tertinggi pada regosol dan litosol. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K terbanyak pada tanah mediteran.

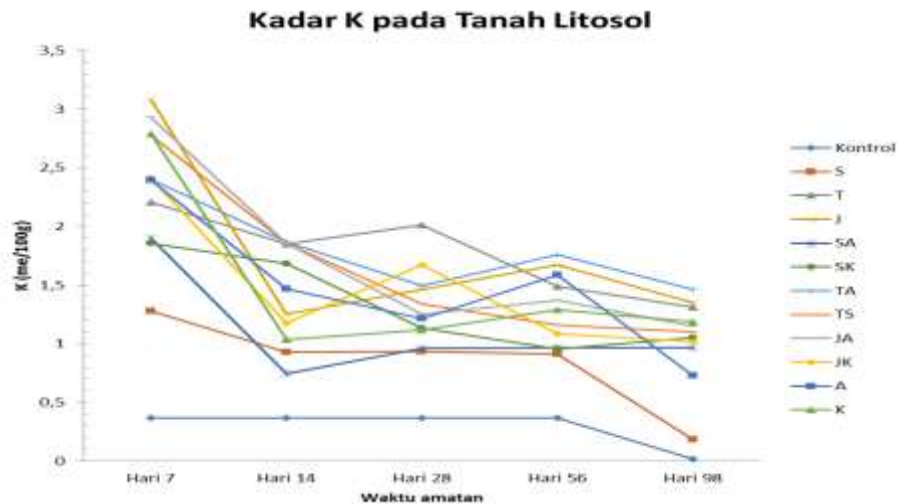
Dinamika kadar K dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar K pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 23-25. Perubahan kadar K meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan dan umur pengamatan. Secara umum kadar K memiliki kecenderungan menurun dari awal hingga akhir pengamatan.

Tabel 55. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98

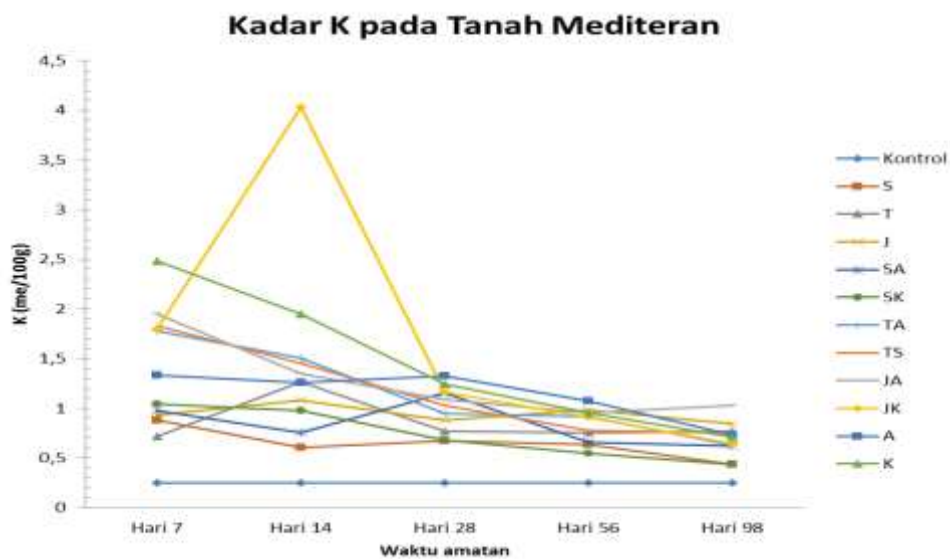
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	b	0.018	0.007	a	0.251	0.037	a
S	0.915	0.063	f	0.183	0.006	b	0.433	0.021	b
T	0.984	0.014	f	1.309	0.027	g	0.770	0.053	d
J	0.880	0.030	e	1.346	0.035	h	0.846	0.057	e
SA	0.794	0.031	d	0.966	0.051	d	0.618	0.025	c
SK	1.153	0.045	g	1.049	0.053	ef	0.439	0.052	b
TA	1.223	0.070	h	1.463	0.042	i	0.629	0.055	c
TS	0.936	0.077	f	1.099	0.074	ef	0.754	0.025	d
JA	1.001	0.008	f	1.151	0.086	f	1.031	0.065	f
JK	0.822	0.043	e	1.020	0.010	de	0.641	0.056	c
A	0.254	0.060	a	0.727	0.071	c	0.733	0.050	d
K	0.608	0.085	c	1.185	0.125	f	0.707	0.080	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

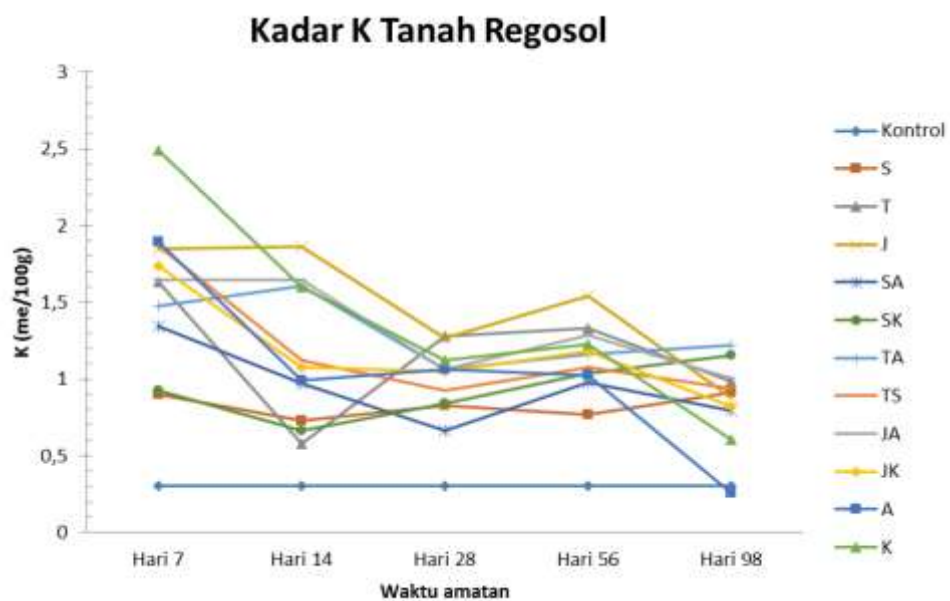
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 23. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah litosol



Gambar 24. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah mediteran



Gambar 25. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah regosol

6.2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Calcium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Kadar abu dari biochar sekam > biochar jengkok > biochar tongkol. Kadar abu dari biochar termasuk konstituen anorganik (kalsium, magnesium dan karbonat anorganik) setelah semua unsur organik (karbon, hidrogen dan nitrogen)

diuapkan (Joseph *et al.*, 2009). Sumber bahan baku dan kondisi pirolisis telah terbukti mempengaruhi kadar abu anorganik dari biochar, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi akhir potensi penggunaan (Kookana *et al.*, 2011). Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 55, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 56-60.

Tabel 55 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar Ca tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 56-60.

Tabel 56. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Hari 7

Inkubasi 7 hari telah menunjukkan bahwa pemberian biochar dan pupuk organik menaikkan kadar Ca pada tanah regosol dan litosol. Semua perlakuan menunjukkan kenaikan kadar Ca yang sama pada tanah regosol, sebesar 78% dari 5,14% menjadi 9,14%. Kenaikan kadar Ca pada litosol dan mediteran bervariasi tidak seperti pada regosol saat 7 hari inkubasi. Aplikasi kompos meningkatkan kadar Ca tertinggi pada litosol. Pada tanah mediteran, kenaikan kadar Ca yang sama dari perlakuan biochar sekam maupun jengkok yang dikombinasi pupuk organik, biochar tongkol yang dicampur kompos, serta pupuk kandang ayam. Pemberian kompos pada tanah mediteran belum meningkatkan kadar Ca pada inkubasi 7 hari.

Tabel 57. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.367	0.115	A	12.236	0.191	a
S	9.451	0.001	b	26.519	1.354	B	14.098	1.312	ab
T	8.885	0.473	b	27.560	1.202	bc	14.154	3.593	ab
J	8.311	0.229	b	29.040	0.036	cd	15.830	1.584	bc
SA	8.379	1.731	b	28.843	1.730	bc	16.790	1.235	c
SK	9.523	0.969	b	26.067	0.291	B	16.735	0.631	c
TA	9.047	1.372	b	24.620	2.996	ab	13.895	0.946	ab
TS	10.020	2.209	b	23.803	0.452	ab	17.348	2.490	c
JA	8.539	1.103	b	29.617	1.605	cd	15.606	0.693	c
JK	10.335	0.612	b	30.935	0.909	cd	16.312	1.025	c
A	9.614	0.000	b	29.090	0.658	cd	15.171	3.047	c
K	8.386	0.153	b	31.987	2.354	D	12.538	1.913	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Setelah 14 hari inkubasi, biochar dan pupuk organik menunjukkan variasi kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca di ketiga jenis tanah. Kenaikan kadar Ca sebesar 111% (regosol); 34% (litosol); dan 55% (mediteran) pada 14 hari inkubasi. Kadar Ca dari litosol (25,83 me/100g) > mediteran (12,44 me/100 g) > regosol (5,14 me/100g). Peningkatan kadar Ca tertinggi dari aplikasi biochar jengkok pada tanah dengan kadar Ca yang terendah. Meskipun kenaikan tertinggi pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam (131%) dan pada tanah litosol dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dan kompos (48%). Aplikasi kombinasi biochar sekam dan pupuk organik menunjukkan kadar Ca yang lebih tinggi daripada hanya menambahkan biochar sekam pada ketiga jenis tanah. Hal ini karena pupuk organik (pupuk kandang ayam dan kompos) memiliki kadar Ca yang lebih tinggi daripada biochar sekam.

Tabel 58. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.767	0.153	s	13.464	0.027	a
S	8.506	0.300	c	23.700	0.100	b	15.313	0.199	c
T	9.865	0.200	de	26.867	0.651	d	14.873	0.695	b
J	10.828	0.148	f	30.467	0.651	g	20.913	0.160	h
SA	9.547	0.105	de	27.567	0.058	e	17.254	0.547	e
SK	10.043	0.252	ef	24.537	0.557	c	18.507	0.460	f
TA	7.511	0.230	b	26.533	0.448	d	16.234	0.051	d
TS	9.700	0.031	d	28.717	0.289	f	14.644	0.551	b
JA	9.438	0.115	d	30.000	0.265	g	14.451	0.493	b
JK	10.679	0.372	ef	33.687	0.824	h	18.232	0.122	f
A	11.880	0.151	g	29.073	0.239	f	19.131	0.069	g
K	9.369	0.241	d	27.797	0.150	e	18.799	0.188	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada inkubasi 28 hari, kadar Ca tertinggi pada regosol diperoleh dari perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar Ca tertinggi pada litosol dari perlakuan pupuk kandang ayam kemudian diikuti campuran biochar jengkok dan pupuk kandang ayam serta kompos. Kadar Ca tertinggi pada tanah mediteran dari perlakuan biochar tongkol dan kompos.

Tabel 59. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.833	0.306	a	13.493	0.050	a
S	8.704	0.191	ef	26.430	0.185	d	22.767	0.306	ef
T	7.612	0.290	cd	26.867	0.136	d	22.800	0.300	f
J	10.230	0.010	g	29.537	0.609	f	22.923	0.194	f
SA	6.823	0.045	b	28.457	0.260	e	19.900	0.346	c
SK	8.210	0.066	de	23.333	0.153	b	19.633	0.961	c
TA	8.262	0.060	de	30.420	0.079	f	22.133	0.681	e
TS	8.513	0.084	ef	28.480	0.200	e	24.223	0.561	g
JA	10.507	0.095	g	31.667	0.416	g	21.000	0.624	d
JK	7.646	0.222	cd	24.477	0.473	c	22.833	0.252	f
A	8.924	0.079	f	32.612	0.586	h	19.600	0.624	c
K	7.467	0.306	c	31.147	0.060	g	18.863	0.679	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai inkubasi 56 hari, semua perlakuan masih meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Biochar jengkok memberikan kenaikan kadar Ca tertinggi pada regosol dan mediteran. Khususnya tanah mediteran, kadar Ca dari perlakuan biochar jengkok tidak berbeda dengan perlakuan biochar tongkol. Tidak demikian pada litosol, kadar Ca tertinggi dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam.

Tabel 60. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.833	0.306	a	13.493	0.050	a
S	8.704	0.191	ef	26.430	0.185	d	22.767	0.306	ef
T	7.612	0.290	cd	26.867	0.136	d	22.800	0.300	f
J	10.230	0.010	g	29.537	0.609	f	22.923	0.194	f
SA	6.823	0.045	b	28.457	0.260	e	19.900	0.346	c
SK	8.210	0.066	de	23.333	0.153	b	19.633	0.961	c
TA	8.262	0.060	de	30.420	0.079	f	22.133	0.681	e
TS	8.513	0.084	ef	28.480	0.200	e	24.223	0.561	g
JA	10.507	0.095	g	31.667	0.416	g	21.000	0.624	d
JK	7.646	0.222	cd	24.477	0.473	c	22.833	0.252	f
A	8.924	0.079	f	32.612	0.586	h	19.600	0.624	c
K	7.467	0.306	c	31.147	0.060	g	18.863	0.679	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Inkubasi 98 hari, kadar Ca tertinggi pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam. Pemberian biochar jengkok, campuran biochar sekam dan pupuk kandang, serta campuran biochar jengkok dan kompos memberikan kadar Ca yang sama pada litosol. Kadar Ca tertinggi pada tanah mediteran dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang.

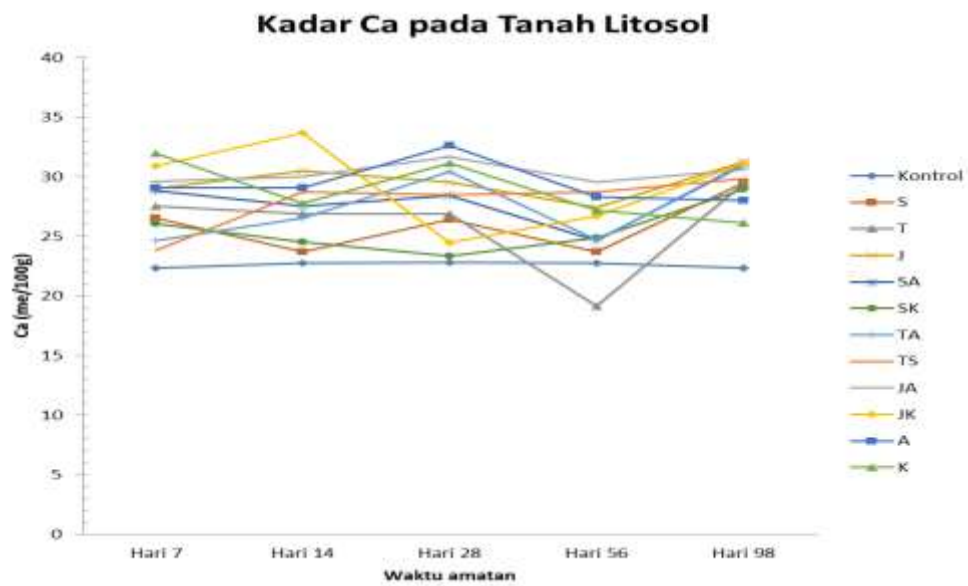
Tabel 61. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.100	0.400	a	22.333	0.503	a	13.493	0.050	b
S	9.056	1.272	b	29.473	0.444	cd	18.788	0.619	e
T	10.967	0.907	d	29.403	0.613	cd	19.093	1.053	e
J	10.272	0.842	cd	31.267	0.666	e	16.469	0.667	d
SA	10.092	0.901	cd	31.060	0.131	e	16.524	1.515	d
SK	12.944	0.404	e	28.970	0.130	c	12.445	0.599	a
TA	12.526	0.613	e	30.970	0.966	de	14.414	0.632	c
TS	9.284	0.377	bc	29.817	0.511	cd	15.541	0.707	cd
JA	8.875	0.238	bc	30.620	0.338	de	23.389	1.354	f
JK	8.287	0.401	b	31.133	0.321	e	16.512	0.571	d
A	16.470	0.894	f	28.000	0.964	c	16.604	0.433	d
K	8.312	0.376	b	26.150	1.143	b	15.961	0.404	d

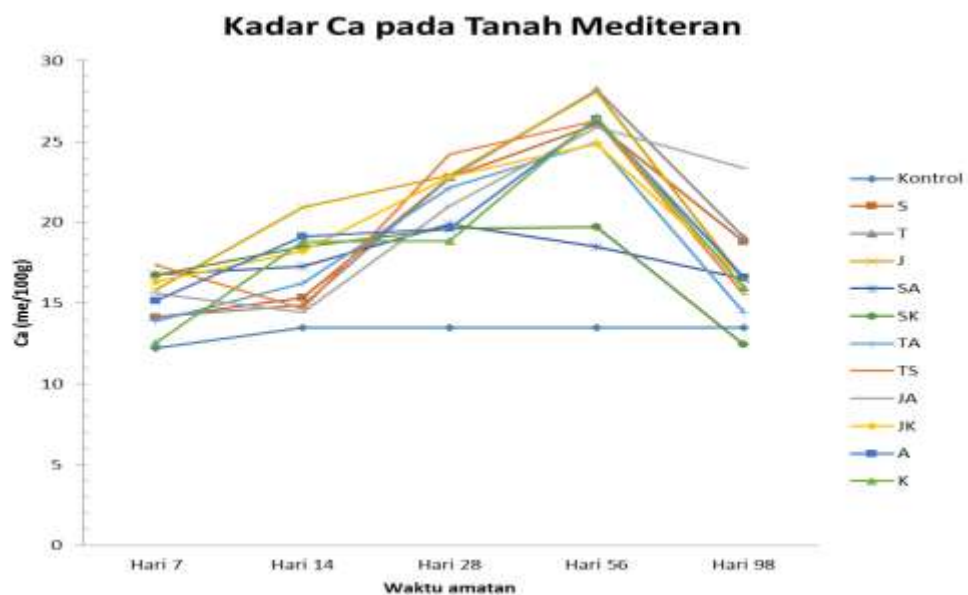
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

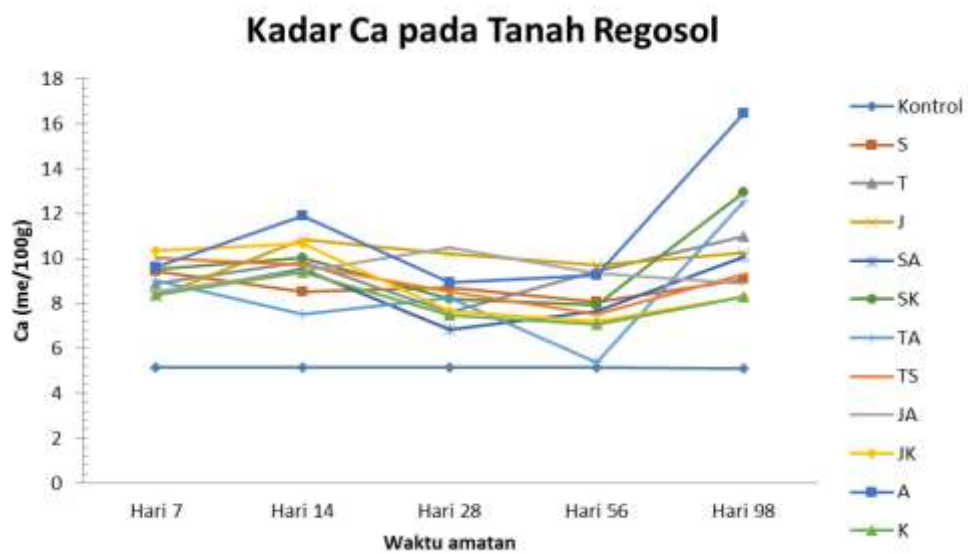
Dinamika kadar Ca dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar Ca pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 26-28. Perubahan kadar Ca meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar Ca cenderung tetap (litosol), meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (mediteran), dan cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan sampai 98 hari (regosol).



Gambar 26. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah litosol



Gambar 27. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah mediteran



Gambar 28. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah regosol

6.3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Magnesium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Tanah yang digunakan pada penelitian ini mengandung magnesium (Mg) yang berbeda. Sebelum perlakuan diberikan (awal penelitian), kadar Mg pada tanah mediteran > litosol > regosol. Kadar Mg dalam biochar jengkok > biochar tongkol > biochar sekam. Sedangkan kadar Mg dari kompos > pupuk kandang ayam. Unsur Ca dan Mg biasa dikaitkan dengan kemasaman tanah. Kemasaman tanah sebelum penelitian (pH H₂O) dari litosol, regosol, dan mediteran masing-masing sebesar 6,4; 5,7; dan 5,3. Setelah aplikasi biochar dan pupuk organik terjadi perubahan nilai pH mulai 7 – 98 hari. Pada 7 hari inkubasi, pH tanah meningkat berkisar 6,2 – 6,4 (regosol); 6,8 – 7,2 (litosol); dan 6,0 – 6,4 (mediteran).

Magnesium merupakan unsur yang terlibat pada reaksi enzimatik dan unsur pembentuk klorofil. Magnesium penting untuk banyak fungsi tanaman, seperti fotosintesis (Mg adalah elemen sentral klorofil), aktivasi enzim, sintesis gula, kontrol serapan hara, dan banyak lainnya. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 61, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 52 - 56. Tabel 51 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama

(jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ sehingga jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar Mg tanah pada berbagai umur pengamatan. asil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 62-66.

Tabel 62. Hasil analisis nested design kadar Mg pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Hari 7

Pemberian biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar Mg di ketiga jenis tanah pada inkubasi 7 hari. Perlakuan biochar tongkol dan pupuk kandang ayam memberikan kadar Mg tertinggi pada ketiga jenis tanah. Khususnya tanah mediteran perlakuan terbaik juga dari aplikasi biochar tongkol yang dicampur kompos.

Tabel 63. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.584	0.340	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	2.697	0.944	b	3.393	0.593	e	4.020	0.348	cd
T	2.814	0.144	b	1.593	0.323	bcd	4.313	0.557	cde
J	4.678	0.400	cd	1.037	0.197	ab	6.978	0.638	f
SA	4.403	0.434	cd	1.293	0.051	abc	3.287	0.403	cd
SK	2.756	0.491	b	1.570	0.266	bcd	5.122	0.314	d
TA	5.103	0.562	d	5.176	0.586	f	8.500	1.690	g
TS	4.281	0.860	cd	3.222	0.663	e	8.424	2.384	g
JA	4.204	1.158	cd	2.443	0.499	cde	7.048	0.875	f
JK	2.914	0.837	b	1.360	0.460	abc	3.014	0.632	c
A	2.477	0.161	cd	2.653	0.238	de	2.644	1.588	b
K	3.231	0.225	bc	0.685	0.249	ab	5.570	0.976	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar Mg pada inkubasi hari ke-14 menunjukkan bahwa setiap perlakuan memberikan kadar Mg yang berbeda pada ketiga jenis tanah. Perlakuan terbaik pada regosol diperoleh dari aplikasi biochar jengkok yang tidak berbeda dengan pemberian kompos. Perlakuan terbaik pada litosol diperoleh dari aplikasi biochar tongkol yang tidak berbeda dengan aplikasi biochar sekam yang dicampur kompos. Perlakuan terbaik pada mediteran diperoleh dari aplikasi biochar sekam yang dicampur pupuk kandang. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 63.

Tabel 64. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.340	0.017	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.745	0.056	b	2.252	0.043	e	6.177	0.272	d
T	1.316	0.179	c	3.029	0.024	f	5.667	0.551	c
J	2.321	0.079	d	0.834	0.200	b	6.367	0.379	de
SA	0.338	0.065	a	1.081	0.027	bc	8.433	0.709	g
SK	0.790	0.200	b	3.399	0.349	f	2.023	0.006	b
TA	1.450	0.128	c	1.822	0.169	d	7.733	0.404	f
TS	0.156	0.000	a	0.727	0.038	b	7.633	0.252	f
JA	0.293	0.030	a	1.870	0.032	d	6.600	0.173	e
JK	1.078	0.068	bc	1.437	0.108	c	6.433	0.252	de
A	0.877	0.033	b	0.805	0.020	b	6.333	0.115	de
K	2.120	0.102	d	1.424	0.096	c	6.667	0.379	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Sampai inkubasi hari ke-28, pemberian biochar dan pupuk organik memberikan peningkatan kadar Ca yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Perlakuan kompos merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg pada regosol dan litosol. Khususnya litosol, perlakuan kompos tidak berbeda dengan perlakuan biochar sekam yang dicampur kompos. Sedangkan pada tanah mediteran, perlakuan pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 64.

Tabel 65. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.340	0.017	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.569	0.079	ab	0.603	0.065	b	3.177	0.022	f
T	2.616	0.195	e	1.200	0.012	c	1.719	0.040	cd
J	1.257	0.025	c	1.611	0.081	d	0.910	0.103	b
SA	1.586	0.055	cd	0.667	0.065	b	4.306	0.105	g
SK	0.858	0.105	b	2.627	0.081	e	1.533	0.666	cd
TA	1.484	0.030	cd	0.824	0.073	bc	1.433	0.306	c
TS	1.337	0.126	c	0.600	0.020	b	1.400	0.265	c
JA	0.832	0.073	b	0.822	0.058	bc	3.214	0.099	f
JK	1.642	0.035	d	1.903	0.011	d	2.538	0.154	e
A	0.612	0.084	ab	0.703	0.031	b	5.533	1.021	h
K	3.214	0.090	f	2.665	0.048	e	1.856	0.027	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pada inkubasi ke-56 hari menunjukkan perbedaan kadar Mg pada setiap jenis tanah dengan aplikasi biochar dan pupuk organik. Kadar Mg tertinggi pada regosol dan mediteran dari perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang sedangkan pada litosol dari perlakuan biochar jenkok yang dicampur kompos. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 65.

Tabel 66. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.274	0.030	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.257	0.012	a	0.498	0.016	c	0.945	0.005	b
T	0.768	0.042	c	0.320	0.010	b	1.363	0.015	d
J	0.827	0.040	d	0.437	0.006	c	1.154	0.005	c
SA	2.059	0.038	i	0.640	0.010	d	11.060	0.036	j
SK	0.309	0.009	a	0.837	0.068	ef	7.204	0.090	h
TA	0.907	0.021	e	0.808	0.022	e	1.836	0.041	f
TS	0.720	0.026	c	0.789	0.020	e	1.623	0.020	e
JA	0.643	0.021	b	0.907	0.015	g	2.491	0.010	g
JK	1.899	0.050	h	0.980	0.010	h	5.296	0.005	i
A	1.233	0.042	g	0.881	0.016	fg	0.907	0.015	b
K	1.067	0.031	f	0.696	0.041	d	1.374	0.015	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Di akhir pengamatan (98 hari), kadar Mg tertinggi pada regosol dari perlakuan biochar sekam dan pada tanah mediteran dari perlakuan biochar sekam yang dicampur dengan pupuk kandang. Kadar Mg tertinggi pada litosol dari perlakuan pupuk kandang yang dicampur dengan biochar sekam maupun biochar jengkok dan juga pemberian kompos.

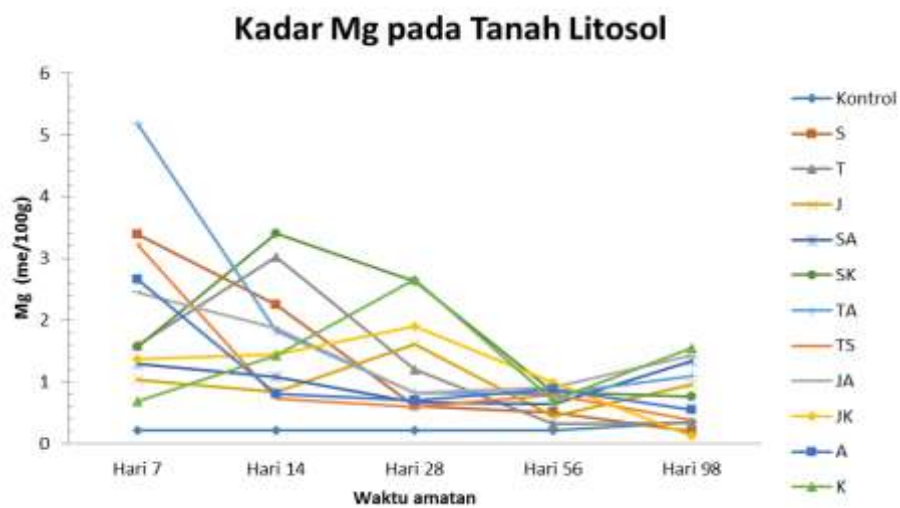
Tabel 67. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.299	0.012	a	0.347	0.025	ab	0.274	0.030	a
S	3.736	0.210	e	0.200	0.010	a	2.067	0.055	d
T	0.149	0.017	a	0.330	0.010	ab	4.995	0.014	i
J	0.633	0.075	b	0.957	0.038	de	3.089	0.029	f
SA	0.239	0.113	a	1.331	0.053	f	5.359	0.145	j
SK	0.307	0.088	ab	0.753	0.085	cd	4.906	0.105	i
TA	1.437	0.055	d	1.093	0.179	e	4.554	0.397	h
TS	1.522	0.109	d	0.373	0.012	ab	3.504	0.352	g
JA	0.305	0.100	a	1.430	0.056	f	1.131	0.138	c
JK	1.067	0.050	c	0.127	0.021	a	2.878	0.158	e
A	0.100	0.010	a	0.552	0.069	bc	2.068	0.224	d
K	1.468	0.048	d	1.553	0.049	f	1.073	0.032	b

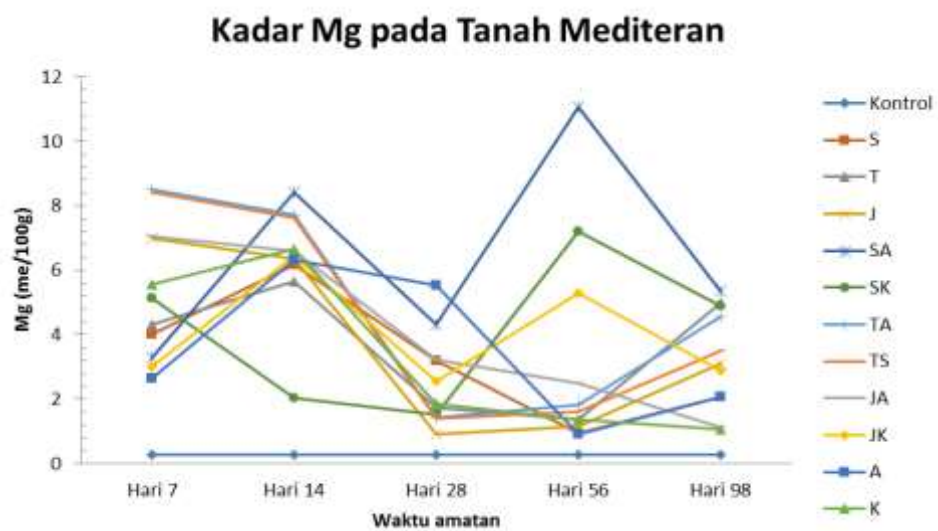
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

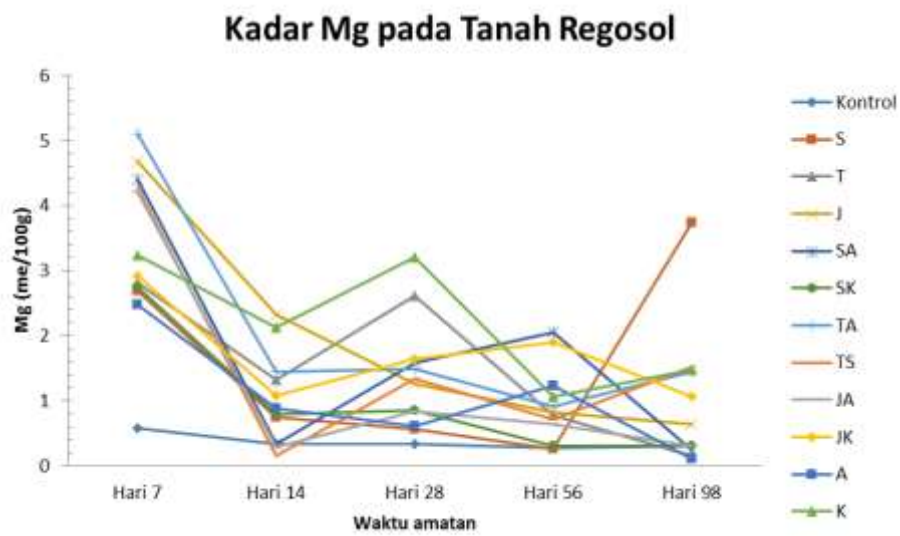
Dinamika kadar Mg dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar Mg pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 29-31. Perubahan kadar Mg meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan dan umur pengamatan. Secara umum kadar Mg memiliki kecenderungan meningkat pada awal inkubasi (7 hari), selanjutnya kadar Mg bisa meningkat atau menurun hingga akhir pengamatan.



Gambar 29. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah litosol



Gambar 30. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah mediteran



Gambar 31. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah regosol

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

PENGARUH BIOCHAR-PUPUK ORGANIK TERHADAP HASIL JAGUNG PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING

Penelitian tahun kedua merupakan penelitian yang dilakukan di lapangan untuk mempelajari pengaruh biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan tanaman indikator supaya pengaruh perlakuan dapat dilihat pada pertumbuhan dan hasil tanaman.

Percobaan dengan menggunakan Rancangan Tersarang, Faktor pertama adalah jenis tanah dan faktor kedua adalah biochar-pupuk organik yang tersarang pada faktor pertama. Faktor pertama meliputi tiga jenis tanah yang digunakan seperti pada penelitian tahun pertama, yaitu 1. Mediteran, 2. Litosol, 3. Regosol. Faktorial kedua meliputi 12 perlakuan, yaitu::

1. Kontrol
2. Biochar sekam padi (BS)
3. Biochar tongkol jagung (BT)
4. Biochar jengkok tembakau (BJ)
5. Biochar sekam padi-kotoran ayam (BSA)
6. Biochar sekam padi-kompos (BSK)
7. Biochar tongkol jagung-kotoran ayam (BTA)
8. Biochar tongkol jagung-kompos (BTK)
9. Biochar jengkok tembakau-kotoran ayam (BJA)
10. Biochar jengkok tembakau-kompos (BJK)
11. Kompos (K)
12. Kotoran ayam (A)

Setiap perlakuan diulang 3 kali dan setiap perlakuan disediakan 7 tanaman sampel sehingga terdapat $12 \times 7 \times 3 \times 3 = 756$ polibag. Biochar dan pupuk organik yang digunakan masih sama seperti penelitian tahun pertama. Cara aplikasi juga sama pada penelitian sebelumnya. Setelah inkubasi 7 hari akan dilakukan penanaman jagung dengan varietas BISI 2.

Pengamatan pertumbuhan meliputi tinggi tanaman, diameter batang, luas daun, berat kering total tanaman. Luas daun dan berat kering total tanaman diamati pada akhir pertumbuhan vegetatif. Biomasa tanaman diperoleh dengan menimbang sampel tanaman yang telah dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 2 x 24 jam. Pengamatan produksi meliputi komponen hasil dan hasil jagung. Selain pengamatan pertumbuhan dan hasil tanaman, juga dilakukan pengamatan terhadap sifat tanah yang akan dilakukan pada tiga kali pengamatan, yaitu pada 7 hari setelah aplikasi biochar dan pupuk organik, saat vegetatif maksimum, dan panen.

Pengamatan terhadap sifat kimia meliputi N, P, K, Ca, Mg, S. Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam dalam sesuai rancangan yang digunakan dan dilanjutkan dengan uji DMRT untuk melihat perbedaan diantara perlakuan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. KESIMPULAN

1. Jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan.
2. Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah.
3. Kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran).
4. Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98.
5. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos pada waktu-waktu tertentu.
6. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu.
7. Inkubasi 7 hari terbaik untuk meningkatkan nilai KTK dari ketiga tanah.
8. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol.
9. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran.
10. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam yang terbaik untuk meningkatkan KTK pada tanah regosol.
11. Kadar K yang tertinggi pada biochar jengkok belum tentu memberikan kontribusi kalium yang terbanyak pada suatu jenis tanah pada suatu waktu.

Biochar jengkok akan meningkatkan kadar kalium tanah terbesar pada litosol (7 hari), regosol (14-56 hari).

12. Kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik.
13. Campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.
14. Peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.
15. Pada awal inkubasi, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol).
16. Kadar P tertinggi pada mediteran dari perlakuan pupuk kandang selama 98 hari regosol berlangsung hingga 56 hari, sedangkan mediteran berlangsung pada 14 hingga 56 hari.
17. Pada 14 hari inkubasi, pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah.
18. Biochar sekam padi tertinggi untuk menurunkan bobot isi tanah dan meningkatkan porositas tanah regosol. Kombinasi biochar dengan pupuk organik maupun hanya pupuk kandang ayam lebih baik daripada hanya dengan biochar untuk menurunkan bobot isi tanah litosol. Biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dengan kompos, serta pupuk kandang ayam menurunkan bobot isi tanah mediteran yang sama.
19. Biochar sekam terendah untuk menurunkan bobot isi tanah regosol. Penurunan bobot isi tanah litosol dari kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%. Pada tanah mediteran, semua perlakuan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17-26%.

20. Bobot partikel tanah dapat ditingkatkan dengan pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang ayam. Jenis biochar yang digunakan akan menentukan kenaikan bobot partikel dari ketiga jenis tanah. Semua perlakuan yang diterapkan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel dan porositas tanah regosol. Bobot partikel tanah litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Bobot partikel tanah mediteran tertinggi dari kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.
21. Penurunan porositas tanah regosol terbaik dengan pupuk kandang ayam. Kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam meningkatkan porositas tanah litosol terbesar (14%) sedangkan kombinasi biochar jengkok dengan kompos meningkatkan porositas tanah mediteran tertinggi (21%).
22. Pori makro meningkat hampir 3 kali lipat dengan biochar jengkok yang dikombinasi kompos pada mediteran. Pori makro meningkat 21-24% jika menggunakan kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam ataupun biochar tongkol pada litosol. Akan tetapi pori makro menurun 21% hanya dengan pupuk kandang ayam pada regosol.
23. Penurunan pori meso pada tanah liat ditentukan oleh jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik. Penurunan pori meso tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar jengkok pada tanah litosol dan biochar sekam dan tongkol pada tanah mediteran. Jenis biochar menentukan perubahan pori meso pada tanah liat. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada litosol. Penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah berpasir dapat meningkatkan pori meso sebesar 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%.
24. Penggunaan biochar dan pupuk organik belum mampu meningkatkan pori mikro pada tanah regosol. Penurunan pori mikro terbesar sebesar 25% dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan kompos serta pupuk kandang ayam pada tanah mediteran. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi biochar sekam padi dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam, dan kombinasi biochar jengkok

dengan kompos pada tanah litosol. Penggunaan kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada mediteran.

7.2. SARAN

Penelitian inkubasi biochar dalam rumah kaca masih perlu dilanjutkan di tingkat lapangan dengan menggunakan tanaman indikator agar pengaruhnya pada tanaman terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammu, P and S. Anitha (2015). Production and characterisation of biochar from different organic materials. *Journal of Tropical Agriculture*. 53 (2), pp. 191-196.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, and Horie T (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111, pp. 81–84.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Higgs (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*. 337, 1–18.
- Baldock, J.A. and Smernik, R.J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33:1093-1109.
- Biederman, LA and Harpole S (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Journal of Global Change Biology*. 5. pp. 202-214.
- Brady NC and Weill RR (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils* 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River NJ. pp. 111-112.
- Chan KY, Van Zeijen L, Meszaros I, Downie A and Joseph S (2007). Assessing the agronomic values of contrasting char materials on Australian hardsetting soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*. Australia, Terrigal NSW.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust J Soil Res* 45:629–634.
- Cheng, C.H., Lehmann, J. and Engelhard, M.H. (2008). Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 72: 1598-1610.
- DeLuca, T.H., Derek, M., MacKenzie, J. And Gundale, M.J. (2009). Biochar effect on soil nutrient transformation. *Earthscan Publisher*. P 251-270.
- Downie A, Crosky A and Munroe P (2009). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management science and technology* Eds. J Lehmann and S Joseph. Earthscan, London. Sterling VA, pp. 13-32.
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S and Lehmann J (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Journal of Bioresource Technology*. 114, pp. 644-53.
- FCO [Fertilizer Control Order] (1985). Fertilizer Association of India. New Delhi. p. 202.
- function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Gaskin, J.W., Steiner, C, Harris, K, Das KC, Bibens, B (2008). Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE*. 51, pp. 2061–2069.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.

- Hanafiah, K.A. (2005). Dasar-dasar Ilmu Tanah. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 360 hal.
- Iswaran V, Jauhri KS and Sen A (1980). Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea. *Journal of Soil Biol Biochemistry*. 12, pp. 191–192.
- Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG and Kleber M (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1247–1253.
- Khishimoto, S. and Sigiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner', Symposium on Forest Products Research International-Achievements and the Future. Pretoria, Republic of South Africa.
- Kolb TE, Agee JK, Fule PZ, McDowell NG, Pearson K, Sala A and Waring RH (2007). Perpetuating old ponderosa pine. *Journal of Forest Ecology and Management*. 249, pp. 141–157.
- Laird, DA (2008). The Charcoal Vision: A Win Win Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Journal of Agronomy*. 100, pp. 178-181.
- Lehmann J, Matthias C, Rillig, Janice T, Caroline A, Masiello, William CH and Crowley D (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*. 43, pp. 1812-1836.
- Lehmann, J. (2009). Terra preta Nova—where to from here?, in W. I. Woods, W.G. Teixeira, J. Lehmann, C. Steiner and A. Winkler Prins (eds) *Terra preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*, Springer, Berlin, p 473–486.
- Lehmann, J. and Rondon, M. (2006). Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N (Ed). *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lehmann, J., da Silva, J.J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, pp. 249:343–357
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J.E., Luizao, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils, *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719–30.
- Manya JJ (2012). Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. *Journal of Environ Sciences Technology*. 46, pp. 7939 – 7954.
- Masulili, A., Utomo, W. H. dan Syekhfani. (2010). Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science (Canada)*, 3: 25-33.
- Mikutta, R. Kieber, M., Kaiser., John, R. (2005). Review. organic matter removal from soils using hydrogen peroxide, sodium hypochloride, and disodium per-odisulfate. *Soil Science Society of America Journal* 69, 120–135.
- Muhammad, AN, Muhammad, K, Muhammad, A, Rashid, A (2014). Yield And Nutrient Composition Of Biochar Produced From Different Feedstocks At Varying Pyrolytic Temperatures. *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 51(1), pp. 75-82.

- Nurida, N.L. (2006). Peningkatan Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan pengolahan tanah dan pemberian bahan organik. Disertasi Sekolah Pascasarjana, IPB.
- Nurida, N.L., Sutono, A. Dariah, dan A. Racman. (2009). Efikasi formula pembenah tanah biochar dalam berbagai bentuk serbuk dalam meningkatkan kualitas lahan kering masam terdegradasi.
- Ogawa, M. (2006). Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. P 133-146.
- Oguntunde PG, Abiodun BJ, Ajayi AE and Van de Giesen N (2008). Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science*. 171, pp. 591–596.
- Pan GX, Zhou P, Li ZP, Smith P, Li LQ, Qiu DS, Zhang XH, Xu XB, Shen SY and Chen XM (2009). Combined inorganic or organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Journal of Agriculture Ecosystem Environmental*. 131, pp. 274-280.
- Purakayastha, T.J., Pathak, H. and Savita, K (2013). Effect of feedstock on characteristics of biochar and its impact on carbon sequestration in soil. In: *Proceedings of National seminar on current environmental challenges and possible solutions*, 15-16 February 2013, University of Delhi, pp 74-75.
- Puziy, A.M., Poddubnaya, A.M. Alonso, F.S. Garcia, dan J. M. D. Tascon. (2003). Synthetic Carbons Activated With Phosphoric Acid III Carbon Prepared in Air. *Cabon* 41: 1181-1191.
- Rondon, M., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol Fert Soils* 43: 699–708
- Rondon, M., Ramirez, A. and Hurtado, M. (2004). Charcoal additions to high fertility ditches enhance yields and quality of cash crops in Andean hillsides of Columbia, CIAT Annual Report Cali, Colombia
- Santi, L.P. dan D.H. Goenadi. (2012). Pemanfaatan biochar asal cangkang kelapa sawit sebagai bahan pembawa mikroba pemantap agregat. *Buana Sains* 12 (1) : 7-13.
- Satari, G., Sadjad, S dan Sastroedardjo. (1977). Pendayagunaan tanah kering untuk budidaya tanaman pangan menjawab tantangan tahun 2000. Kongres agronomi, perhimpunan agronomi Indonesia. Jakarta
- Sohi SP, Krull E, Lopez CE and Bol R (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, De Mace^ do JLV, Blum WEH and Zech W (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Journal of Plant and Soil*. 291, pp. 275–290.
- Steiner, C., Das, K.C., Garcia, M., Foerster, B. and Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol, *Pedobiologia*, 51(5-6): 359-366.
- Sudjana, B. (2014). Pengaruh biochar dan npk majemuk terhadap biomas dan

- serapan nitrogen di daun tanaman jagung (*zea mays*) pada tanah typic dystrodepts. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. 3 (1): 63-66.
- Sukartono dan Utomo (2012). Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir semiarid tropis Lombok Utara. *Buana Sains*, vol 12 no1, pp. 91-98.
- Sukartono, W.H.Utomo, Z. Kusuma and W.H. Nugroho. (2011). Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49: 47-52.
- Sutono dan F. Agus. (1998). Pengaruh pembenah tanah terhadap hasil kedelai di Cibugel, Sumedang. *Hlm. 107 -122 dalam* Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat Maklah Review. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sutono, S dan Neneng, L.N. (2012). Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Buana Sains* 12 (1): 45-52.
- Suwardji, Wani, H.U., Sukartono. (2012). Kemantapan agregat setelah aplikasi biochar di tanah lempung berpasir pada pertanaman jagung di lahan kering Kabupaten Lombok Utara. *Buana Sains* 12 (1): 61-68.
- Srinivasarao, Ch., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Dubey, A. K., Wakudkar, H., Purakayastha, T. J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B. L., Rajkhowa, D.J., Sandip Mandal, Jeyaraman, S., Venkateswarlu, B. and Sikka, A. K. (2013). Use of biochar for soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, Andhra Pradesh, 51p.
- Tambunan, S., Eko, H., Bambang, S. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering Malang Selatan. *Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1 (1): 89-98.
- Topoliantz, S, Ponge, J.F. and Ballof, S. (2005). Manioc peel and charcoal: a potential organik amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils* 41: 15–21.
- Wardle DA, Zackrisson O and Nilsson MC (1998). The charcoal effect in boreal forests: Mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*. 115, pp. 419–426.
- Widowati and Asnah. (2014). Biochar can Enhance Potassium Fertilization Efficiency and Economic Feasibility of Maize Cultivation. *Journal of Agricultural Science*. 6 (2): 24-32.
- Widowati and Asnah. (2014). Biochar Effect on Potassium Fertilizer and Leaching Potassium Doses for Two Corn Planting Seasons. *Agrivita Journal Agriculture Sciences* 36 (1): 65-71.
- Widowati, Utomo, W.H., Soehono, L.A. and Guritno, B. (2011). Effect of Biochar on the Release and Loss of Nitrogen from Urea Fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology*. 1: 127- 132.
- Widowati, Utomo, W.H., Guritno, B., Soehono, L.A. (2012). The Effect of Biochar on the Growth and N Fertilizer Requirement of Maize (*Zea mays* L.) in Green House Experiment. *Journal of Agricultural Science*. 4: 255 – 262.
- Widowati, W.H.Utomo, Asnah. (2014). The Use of Biochar to Reduce Nitrogen and Potassium Leaching from Soil Cultivated with Maize. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2 (1): 211-218. DOI:10.15243/jdmlm.2014.021.211.

- Woolf, D. (2008). Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications. Swansea University, UK. [http://orgprints.org/13268/01/Biochar as a soil amendment a review.pdf](http://orgprints.org/13268/01/Biochar_as_a_soil_amendment_a_review.pdf). (Accessed on May 4, 2010).
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S. and Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4): 489-495.
- Yu Ok-You, R. Brian and S. Sam (2013). Impact of biochar on the water capacity of loamy sand soil. 4:44. <http://www.journal.ijeec.com/content/4/1/44> (di download 24 Mei 2014).
- Zimmerman AR (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1295–1301.

Lampiran 1. Sertifikat Pemakalah Internasional



2. Bukti penerimaan jurnal pada publikasi internasional (Bioscience Research)

Respectable author(s),

The peer review process has been completed and reviewers endorsed your article for publication. I am pleased to inform you that your submission with Article Tracking ID **BR-1544** has been accepted (with minor changes) for publication in **Bioscience Research**. Peer review report will be provided on later stage.

Page charges are assessed for all kinds of articles to help defray publication costs. For further processing of your paper and inclusion in the coming issue, kindly send the publication cost (within 03 working days) to

“Tahira Haneef”

Faisalabad, Pakistan through **WESTRON UNION** money transfer service and send us **MTCN code no** and **Name of sender** by email.

You may also send the scan of the receipt by email.

Total payable amount for your article is **US\$ 160/-**. (PKR 16960)

Payment details are

Payment details	Payment
Publication cost up to 05 pages	120
Extra page charges (04 pages) @ US\$ 10/page	40
Total US\$ /-	160
Total in Pak Rupees	16960

Note: You will be provided with a PDF of your papers for unlimited off prints.


Best Regards

Managing Editor

Bioscience Research (pISSN: 1811-9506 eISSN 2218-3973)

website: www.isisn.org

Editorial Office

 WESTERN UNION MONEY TRANSFER® Pengiriman uang <i>To send money</i> Cara cepat mengirim uang ke seluruh dunia <i>The fastest way to send money world wide</i>	
Tujuan (kota, negara) <i>Destination (city, country)</i> Faisalabad, Pakistan	
Jumlah terbilang <i>Amount in words</i>	Jumlah/Amount <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px;"></div>
Penerima / Receiver	
Nama depan <i>First name (s)</i> TAHIRA	
Nama belakang <i>Last name (s)</i> HANEEF	
Alamat <i>Address</i> FAISALABAD	
Kota / City Negara / Country Kode Pos / Postal Code	
Pengirim / Sender	
Nama depan <i>First name (s)</i> WIDOWATI	
Nama belakang <i>Last name (s)</i> -	
Alamat <i>Address</i> FL - SASANDO 182	
MALANG - INDONESIA	
No. Telepon <i>Telephone no.</i> +62 82245711408	
No. rek. nasabah/Preferrred Customer No.	
Biaya dikenakan untuk layanan tambahan, pilihlah layanan yang diinginkan. <i>Optional add-on services available at additional cost, check services desired.</i> <input type="checkbox"/> Saya ingin cek dikirim ke alamat berikut <i>I want a check delivered to the following address</i>	
Kota / City Negara / Country Kode Pos / Postal Code	
<input type="checkbox"/> Saya ingin WU menghubungi penerima <i>I want to WU telephone the receiver</i> <input type="checkbox"/> Pesan yang dikirim <i>Messages to be sent</i>	
Apakah Penerima memiliki tanda pengenal yang berlaku? <i>Will the Receiver have valid identification?</i> <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/> No Jika tidak ada, buat Pertanyaan Test 1 (maks. 4 kata) <i>If no, provide a Test Question 1 (Limit 4 Words)</i>	
Jika lebih dari Rp. 1000.000,- diperlukan keterangan fisik Penerima <i>If over \$ 650, a physical Description of the Receiver is needed</i> Warna Mata Jenis Kelamin Tinggi Rambut Warna Rambut Warna Kulit	
Tanda tangan Pengirim <i>Customer's signature</i>	
Tanda Tangan Agen <i>Agent's Signature</i>	
E. 2012-21,5 x 16,5-250.000 sat.NCR SP/2012	

WESTERN UNION SENDING RECEIPT	
614814490	
MTCN : 840-939-9978	
Counter : Kantor Pos MALANGUNIBRAW 651138	
Date : 12-09-2017 Time : 10:10:14	
Trx ID : 6511380-01/17/000230	
Sender ID : 651138017000231	
Sender Name : Mr. KOTOK GURITO O	
SASANDO MALANG LOWOKWARU	
KOTA MALANG 65100 / INDONESIA	
Receive ID : 651138017000231	
Receive Name : MR. TAHIRA HANEEF	
PAKISTAN PAKISTAN	
PAKISTAN / PAKISTAN	
Source Fund : LAINNYA	
Purpose Fund : LAINNYA	
Question : Answer :	
Principal : Rp. 2,222,864.00	
Exchange Rate : 0.0076297	
Expected Payout : PKR 16,960.00	
Total Charge : Rp. 217,500.00	
Discount : Rp. 0.00	
Total Collect Amount : Rp. 2,440,364.00	
Employee ID : ARIE SOESANTEN	
KANTOR 6511320	
POS INDONESIA	
Syarat dan ketentuan berlaku Lacak status : http://www.posindonesia.co.id	

3. Submit pada Jurnal Organic Agriculture



HIBAH PENELITIAN 2018



**SURAT PERJANJIAN PENUGASAN DALAM RANGKA
PELAKSANAAN PROGRAM PENELITIAN
Tahun Anggaran 2018
Nomor : 95/TB-LPPM/TU-220/III/2018**

Pada hari ini **Kamis** tanggal **Dua Puluh Sembilan** bulan **Maret** tahun **Dua Ribu Delapan Belas**, kami yang bertanda tangan di bawah ini :

- 1. Dr. Ir. Eko Marhaeniyanto, MP** : Ketua LPPM Universitas Tribhuwana Tunggaladewi dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Rektor Universitas Tribhuwana Tunggaladewi yang berkedudukan di Jl. Telaga Warna, Tlogomas, Malang untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2. Dr. Ir. Widowati, MP** : Dosen Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2018 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam suatu Kontrak **PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI** Tahun Anggaran 2018 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

**Pasal 1
Ruang Lingkup Kontrak**

PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan **PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI** Tahun Anggaran 2018 dengan judul "Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering".

**Pasal 2
Dana Penelitian**

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar **Rp 115000000 (Seratus Lima Belas Juta Rupiah)** sudah termasuk pajak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor SP DIPA-042.06.1.401516/2018, tanggal 05 Desember 2017.

Pasal 3
Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara sekaligus dan/atau bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
- a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% Rp 80500000 (Delapan Puluh Juta Lima Ratus Ribu Rupiah), yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PARA PIHAK** membuat dan melengkapi rancangan pelaksanaan penelitian yang memuat judul penelitian, pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, data yang akan diperoleh, anggaran yang akan digunakan, dan tujuan penelitian berupa luaran yang akan dicapai.
 - b. Pembayaran Tahap Kedua/Terakhir sebesar 30% Rp. 34500000 (Tiga Puluh Empat Juta Lima Ratus Ribu Rupiah), dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke laman **SIMLITABMAS** paling lambat tanggal **14 September 2018** dokumen sebagai berikut :
 - a. Buku catatan harian dan laporan penggunaan anggaran 70%
 - b. Laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
 - c. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB)
- (2). Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:

Nama	: Dr. Ir. Widowati, MP
NomorRekening	: 0283054316
Nama Bank	: BNI

- (3). **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, nama bank, nomor rekening, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

Pasal 4
Jangka Waktu

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sampai selesai 100%, adalah terhitung sejak **Tanggal 29 Maret 2018** dan berakhir pada **Tanggal 16 November 2018**.

Pasal 5
Target Luaran

- (1). **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa Draft Paten Sederhana, Draft Hak Cipta
- (2). **PIHAK KEDUA** diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa Published Artikel Jurnal Internasional, Prosiding Seminar Nasional, Produk, Draft Bahan Ajar (ISBN)
- (3). **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 6
Hak dan Kewajiban Para Pihak

- (1). Hak dan Kewajiban **PIHAK PERTAMA**:
- a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7;

- b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.

(2). Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA**:

- a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
- b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI dengan judul Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering dan catatan harian pelaksanaan penelitian;
- c. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
- d. **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** laporan penggunaan dana sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7.

Pasal 7

Laporan Pelaksanaan Penelitian

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan kemajuan dan laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA** yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan Kemajuan dan Catatan harian penelitian yang telah dilaksanakan ke SIMLITABMAS paling lambat **14 September 2018**.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan *Hardcopy* Laporan Kemajuan dan Rekapitulasi Penggunaan Anggaran 70% kepada **PIHAK PERTAMA**, paling lambat **21 September 2018**.
- (4) **PIHAK KEDUA** harus menyampaikan Surat Pernyataan telah menyelesaikan seluruh pekerjaan yang dibuktikan dengan pengunggahan padalaman (*website*) SIMLITABMAS.
 - a. Catatan harian dan laporan komprehensif pelaksanaan Penelitian, pada tanggal **16 November 2018**
 - b. Laporan akhir, capaian akhir, Poster, artikel ilmiah dan profile, pada tanggal **16 November 2018** (bagi penelitian tahun terakhir).
- (5). Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - (a). Laporan hasil Penelitian ditulis dalam format font Times New Romans ukuran 12 spasi 1,5 dan bentuk/ukuran kertas A4;
 - (b). Warna sampul muka (cover) disesuaikan dengan ketentuan yang telah ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**;
 - (c). Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018

Softcopy laporan hasil Program Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (5) wajib diunggah ke laman (*website*) SIMLITABMAS sedangkan *hardcopy* wajib disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 8
Monitoring dan Evaluasi

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2018 ini sebelum pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi eksternal oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Pasal 9
Penilaian Luaran

1. Penilaian luaran penelitian dilakukan oleh Komite Penilai/*Reviewer* Luaran sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Apabila dalam penilaian luaran terdapat luaran tambahan yang tidak tercapai maka dana tambahan yang sudah diterima oleh peneliti harus disetorkan kembali ke kas negara.

Pasal 10
Perubahan Susunan Tim Pelaksana dan Substansi Pelaksanaan

Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi pelaksanaan penelitian ini dapat dibenarkan apa bila telah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

Pasal 11
Penggantian Ketua Pelaksana

- (1). Apabila **PIHAK KEDUA** selaku ketua pelaksana tidak dapat melaksanakan Penelitian ini, maka **PIHAK KEDUA** wajib mengusulkan pengganti ketua pelaksana yang merupakan salah satu anggota tim kepada **PIHAK PERTAMA**.
- (2). Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat melaksanakan tugas dan tidak ada pengganti ketua sebagaimana dimaksud pada ayat(1), maka **PIHAK KEDUA** harus mengembalikan dana penelitian kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya disetor ke Kas Negara.
- (3). Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (2) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 12
Sanksi

- (1). Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian ini telah berakhir, namun **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya, terlambat mengirim laporan Kemajuan, dan/atau terlambat mengunggah laporan akhir di laman (*website*) SIMLITABMAS, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi denda administratif sebesar 1‰ (satu permil) untuk setiap hari keterlambatan sampai dengan setinggi-tingginya 5% (lima persen), dihitung dari tanggal jatuh tempo dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.
- (2). Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat mencapai target luaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5, maka kekurangan capaian target luaran tersebut akan dicatat sebagai hutang **PIHAK KEDUA** kepada **PIHAK PERTAMA** yang apabila tidak dapat dilunasi oleh **PIHAK KEDUA**, akan berdampak pada kesempatan **PIHAK KEDUA** untuk mendapatkan pendanaan penelitian atau hibah lainnya yang dikelola oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 13
Pembatalan Perjanjian

- (1). Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh **PIHAK KEDUA**, maka perjanjian penelitian ini dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya akan disetor ke Kas Negara.
- (2). Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 14
Pajak-Pajak

- (1). Hal-hal dan/atau segala sesuatu yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa PPN dan/atau PPh menjadi tanggungjawab **PIHAK KEDUA** dan harus dibayarkan oleh **PIHAK KEDUA** ke kantor pelayanan pajak setempat sesuai ketentuan yang berlaku, berupa :
 1. Pembelian barang dan/atau jasa yang dikenakan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 10% (sepuluh persen) dan Pajak Penghasilan (PPh) 22 sebesar 1,5% (satu koma lima persen);
 2. Belanja honorarium yang dikenakan PPh 21 dengan ketentuan :
 - (a). 5% (lima persen) bagi yang memiliki NPWP untuk Golongan III, serta 6% (enam persen) bagi yang tidak memiliki NPWP, dan
 - (b). Untuk Golongan IV sebesar 15% (lima belas persen);
 3. Pajak-pajak lainnya sesuai ketentuan yang berlaku.
- (2). **PIHAK KEDUA** wajib menyimpan seluruh bukti-bukti pembayaran pajak yang telah disetorkan.

Pasal 15
Peralatan dan/alat Hasil Penelitian

Hasil Pelaksanaan Penelitian ini yang berupa peralatan dan/atau alat yang dibeli dari pelaksanaan Penelitian ini adalah milik Negara yang dapat dihibahkan kepada Universitas Tribhuwana Tungadewi melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

Pasal 16
Penyelesaian Sengketa


Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.

Pasal 17
Lain-lain

- (1). **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2). Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.

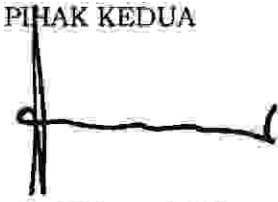
Perjanjian ini dibuat dan ditandatangani oleh PARA PIHAK pada hari dan tanggal tersebut di atas, dibuat dalam rangkap 2 (dua) dan bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, yang masing-masing mempunyai kekuatan hukum yang sama.

PIHAK PERTAMA



Dr. Ir. Eko Marhaeniyanto, MP
0003106802

PIHAK KEDUA



Dr. Ir. Widowati, MP
0024086506

Mengetahui
Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Ann Hamzah, MP
0027056718

**LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



JUDUL PENELITIAN

**KARAKTERISASI BIOCHAR-PUPUK ORGANIK
PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING**

Tahun ke 2 dari rencana 4 tahun

Ketua Tim Peneliti:

Dr. Ir. Widowati, MP (NIDN 0024086506)

Anggota Tim:

Sutoyo, SP., MP (NIDN 0002076012)

Hidayati Karamina, SP., SH., MP (NIDN 0704019101)

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementrian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018

**UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADDEWI
MALANG
NOPEMBER 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. Ir WIDOWATI, M.P
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
NIDN : 0024086506
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Agroteknologi
Nomor HP : 0822 4571 1408
Alamat surel (e-mail) : widwidowati@gmail.com

Anggota (1)
Nama Lengkap : SUTOYO S.P, M.P
NIDN : 0002076012
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Anggota (2)
Nama Lengkap : HIDAYATI KARAMINA S.H., S.P, M.P
NIDN : 0704019101
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 4 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 115,000,000
Biaya Keseluruhan : Rp 513,710,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



(Dr. Ir. Amir Hamzah, MP)
NIP/NIK 0027056718

Malang, 2 - 11 - 2018

Ketua,



(Dr. Ir. WIDOWATI, M.P)
NIP/NIK 196508241993022001

Menyetujui,
Ketua LPPM



(Dr. Ir. Eko Marhanianto, MP)
NIP/NIK 0003106802

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugerahNya sehingga laporan akhir tahun kedua dari Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) dapat diselesaikan. Penelitian lanjutan dengan judul “Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering” merupakan penelitian untuk mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT di bidang Ketahanan Pangan. Topik unggulan, diantaranya *Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan*. Penelitian ini menggunakan tanaman jagung sebagai tanaman indikator yang ditanam di lahan kering yang diberi biochar-pupuk organik.

Pada kesempatan ini, tim peneliti menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kemenristek-Dikti yang telah mendanai PTUPT yang akan diselesaikan dalam waktu 4 tahun (2017-2020).

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih perlu penyempurnaan. Oleh karena itu diperlukan masukan dan saran dari berbagai pihak. Harapan penulis, kiranya laporan kemajuan ini bermanfaat bagi masyarakat luas dan membawa hasil yang membangun bagi pertanian lahan kering.

Malang, Nopember 2018

Peneliti,

Widowati

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	
PRAKATA	
DAFTAR ISI	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR LAMPIRAN	
RINGKASAN	
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Khusus	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lahan Kering	4
2.2. Karakteristik biochar	9
2.3. Pengaruh pemberian biochar terhadap kesuburan tanah	10
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	14
3.1. Tujuan Penelitian	14
3.2. Manfaat penelitian	14
IV. METODE PENELITIAN	15
3.1 Tanah penelitian dan produksi biochar	15
3.2 Rancangan percobaan	15
V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	17
5.1. Karakteristik biochar, pupuk organik, dan tanah awal	17
5.2. Pertumbuhan Tanaman.....	19
5.2.1. Tinggi tanaman	19
5.2.2. Biomasa tanaman	19
5.3. Analisis Pertumbuhan Tanaman	22
5.3.1. Indek luas daun (ILD)	22
5.3.2. Luas daun spesifik.....	23

5.3.3. Hasil Jagung Pipilan.....	24
5.4. Pengaruh pemberian biochar dan pupuk organik terhadap sifat kimia tanah setelah inkubasi (7 hari), pertumbuhan vegetatif maksimum (60 hari), dan panen (112 hari)	26
5.4.1. pH (H ₂ O).....	26
5.4.2. Bahan Organik Tanah.....	34
5.4.3. Jumlah Basa	41
5.4.4. Kejenuhan Basa (KB).....	48
5.4.5. Kapasitas Tukar Kation (KTK).....	51
5.4.6. Kadar N	53
5.4.7. Kadar P	63
5.4.8. Kadar K	71
5.4.9. Kadar Ca	77
5.4.10. Kadar Mg	83
5.4.11. Kadar Na.....	89
5.4.12. Efek dari perubahan biochar dan pupuk organik pada tekstur tanah saat panen	95
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	97
6.1 Kesimpulan	97
6.2 Saran	98
UCAPAN TERIMA KASIH.....	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik biochar Jengkok Tembakau	10
Tabel 2. Karakteristik biochar dan pupuk organik dan tanah awal	18
Tabel 3. Hasil analisis nested design	19
Tabel 4. Hasil analisis nested design pH pada 7 hari	26
Tabel 5. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	27
Tabel 6. Hasil analisis nested design pH pada (60 hari)	30
Tabel 7. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	30
Tabel 8. Hasil analisis nested design pH (112 hari)	32
Tabel 9. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	33
Tabel 10. Hasil analisis nested design jumlah basa pada 7 hari.....	34
Tabel 11. Hasil uji DMRT kadar BO pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	35
Tabel 12. Hasil analisis nested design kadar bahan organik pada (60 hari)	37
Tabel 13. Hasil uji DMRT kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	38
Tabel 14. Hasil analisis nested design kadar bahan organik pada (112 hari).....	39
Tabel 15. Hasil uji DMRT bahan organik pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	40
Tabel 16. Hasil analisis nested design jumlah basa pada 7 hari	41
Tabel 17. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	43
Tabel 18. Hasil analisis nested design jumlah basa pada (60 hari)	44
Tabel 19. Hasil analisis nested design jumlah basa (112 hari).....	45
Tabel 20. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	46
Tabel 21. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	47
Tabel 22. Hasil analisis nested design Kejenuhan Basa (KB) (112 hari)	49
Tabel 23. Hasil uji DMRT KB pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	50
Tabel 24. Hasil analisis nested design KTK (112 hari)	51
Tabel 25. Hasil uji DMRT KTK pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	52
Tabel 26. Hasil analisis nested design kadar N pada 7 hari	55
Tabel 27. Hasil uji DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	56
Tabel 28. Hasil analisis nested design kadar N pada (60 hari)	57
Tabel 29. Hasil uji DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	58
Tabel 30. Hasil analisis nested design kadar N total (112 hari)	59
Tabel 31. Hasil uji DMRT N total pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	60
Tabel 32. Hasil analisis nested design kadar P pada 7 hari	63
Tabel 33. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	64
Tabel 34. Hasil analisis nested design kadar P pada (60 hari)	66
Tabel 35. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	67
Tabel 36. Hasil analisis nested design kadar P (112 hari)	68
Tabel 37. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	69
Tabel 38. Hasil analisis nested design kadar K pada 7 hari	70
Tabel 39. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	71
Tabel 40. Hasil analisis nested design kadar K pada (60 hari)	72

Tabel 41. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	73
Tabel 42. Hasil analisis nested design kadar K (112 hari).....	74
Tabel 43. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	75
Tabel 44. Hasil analisis nested design kadar Ca pada 7 hari	76
Tabel 45. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	77
Tabel 46. Hasil analisis nested design kadar Ca pada (60 hari)	78
Tabel 47. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	79
Tabel 48. Hasil analisis nested design kadar Ca (112 hari)	80
Tabel 49. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	81
Tabel 50. Hasil analisis nested design kadar Mg pada 7 hari	82
Tabel 51. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	83
Tabel 52. Hasil analisis nested design kadar Mg pada (60 hari)	84
Tabel 53. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	85
Tabel 54. Hasil analisis nested design kadar Mg (112 hari)	86
Tabel 55. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	87
Tabel 56. Hasil analisis nested design kadar Na pada 7 hari	88
Tabel 57. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	89
Tabel 58. Hasil analisis nested design kadar Na pada (60 hari)	90
Tabel 59. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	91
Tabel 60. Hasil analisis nested design kadar Na (112 hari)	92
Tabel 61. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	93
Tabel 62. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tekstur tanah Entisol, Litosol, Alfisol pada saat panen	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tinggi tanaman pada Alfisol, Entisol, dan Litosol.....	20
Gambar 2.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap biomasa pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	21
Gambar 3.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Indek Luas Daun pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	22
Gambar 4.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Luas Daun Spesifik pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	23
Gambar 5.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jagung pipilan kering pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	25
Gambar 6.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	29
Gambar 7.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	31
Gambar 8.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	34
Gambar 9.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	37
Gambar 10.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	39
Gambar 11.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	41
Gambar 12.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	44
Gambar 13.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	46
Gambar 14.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	48
Gambar 15.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kejenuhan basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	50
Gambar 16.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	53
Gambar 17.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	57
Gambar 18.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (60 hari)	59
Gambar 19.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (112 hari)	61
Gambar 20.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada	

masing-masing jenis tanah (7 hari).....	65
Gambar 21. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	67
Gambar 22. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	69
Gambar 23. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	72
Gambar 24. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	73
Gambar 25. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	74
Gambar 26. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	76
Gambar 27. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	78
Gambar 28. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	80
Gambar 29. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	82
Gambar 30. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (7 hari)	84
Gambar 31. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	86
Gambar 32. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	88
Gambar 33. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (7 hari).....	90
Gambar 34. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (60 hari).....	92
Gambar 35. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (112 hari).....	94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Instrumen File pdf Artikel yang telah dipublikasi (2017).....	104
Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul	116
Lampiran 3. Tabel Isian Luaran	131
Lampiran 4. Artikel Ilmiah (2018)	134
Lampiran 5. Paten Sederhana.....	146
Lampiran 6. Proposal Paten	154
Lampiran 7. Sertifikat Pemakalah pada Seminar Internasional dan Nasional	171
Lampiran 8. Artikel Ilmiah pada Seminar Internasional dan Nasional	172

RINGKASAN

Lahan kering di Kabupaten Malang berpotensi dikembangkan untuk pertanian. Dalam jangka panjang penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanah di lahan kering sehingga masa tanam diperpanjang/indeks pertanaman ditingkatkan dan ketahanan pangan terwujud. Hal ini didekati dengan beberapa percobaan yang akan dilakukan dalam waktu 4 tahun. Percobaan tahun pertama lebih menekankan bagaimana pengaruh langsung dari karakteristik biochar-pupuk organik terhadap sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sebelum ada interaksi dengan tanaman pada beberapa jenis tanah (liat dan pasir berlempung). Biochar-pupuk organik berpengaruh terhadap perubahan sifat tanah maupun ketersediaan hara. Penelitian ini bertujuan untuk (1). Mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering, dan (2). Mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap perubahan sifat kimia tanah. Penelitian ini bermanfaat untuk manajemen kesuburan tanah dan tanaman yang efektif dan berlanjut dengan penerapan biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.

Pada tahun I telah dilakukan percobaan dalam pot plastik di rumah kaca, di Dusun Bawang, Desa Tunggulwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian ini menggunakan 3 sampel tanah yang berasal dari 3 kecamatan di Kabupaten Malang Selatan dari agroekosistem lahan kering yang secara alami memiliki produktivitas tanah rendah. Jenis tanah yang diambil mewakili proses pembentukan dan perkembangan tanah. Jenis tanah dari Kec. Poncokusumo adalah Regosol (baru berkembang), dari Kec. Donomulyo adalah Litosol (berkembang tidak sempurna), dan dari Kec. Kalipare adalah (sedang berkembang). Pembentukan dan perkembangan tanah mempengaruhi karakteristik jenis tanah. Biochar dari 3 jenis biomasa (sekam padi, tongkol jagung, jengkok tembakau). Pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang ayam. Hasil karakterisasi pada tahun I menunjukkan bahwa jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (Entisol, Alfisol, Litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan serta tidak signifikan terhadap sifat biologi tanah pada 45 dan 90 hari. Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Perbaikan sifat fisik tanah liat lebih baik menggunakan kombinasi jenis biochar dengan pupuk organik.

Penelitian tahun II merupakan percobaan yang menggunakan tanaman sebagai indikator untuk melihat respon terhadap aplikasi biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering. Percobaan dilakukan dalam polibag yang diletakkan di lapangan dengan menggunakan tiga jenis tanah yang berbeda, diambil dari wilayah lahan kering di 3 Kecamatan di Kabupaten Malang. Percobaan menggunakan 3 jenis biochar yang dibuat dari bahan sekam padi, tongkol jagung, limbah industri tembakau serta pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang kotoran ayam. Rancangan percobaan dan perlakuan yang diberikan sebagaimana pada percobaan tahun pertama.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan pada Alfisol dan Litosol menunjukkan hasil jagung yang berbeda. Hasil jagung lebih tinggi dengan biochar tongkol kombinasi pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya menggunakan pupuk kandang pada Alfisol. Penggunaan biochar sekam kombinasi pupuk kandang menunjukkan hasil jagung terbaik pada Litosol. Jenis biochar dan pupuk organik yang diterapkan pada Alfisol dan Litosol memberikan pengaruh yang berbeda pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Penggunaan jenis biochar dan pupuk organik secara tunggal maupun kombinasi pada Entisol menunjukkan hasil jagung yang sama. Penggunaan biochar tongkol dan pupuk kandang secara kombinasi lebih baik dibanding tunggal pada Alfisol. Pupuk kandang dan jenis biochar yang diterapkan secara tunggal maupun kombinasi lebih

baik pada Litosol. Hasil biji terbaik diperoleh dari kadar N,P,K seimbang setelah pupuk kandang diterapkan bersama biochar dari jenis yang berbeda pada Alfisol dan Litosol. Jenis tanah menentukan kemampuan biochar sebagai penyedia Ca dan Mg (Litosol) maupun menyimpan kation basa (Alfisol dan Entisol). Perubahan sifat-sifat tanah dalam menanggapi perubahan biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah meskipun memiliki tekstur yang sama. Namun jenis biochar dan pupuk organik menunjukkan hasil jagung yang tidak berbeda pada Entisol. Penggunaan biochar jengkok-pupuk kandang secara bersama lebih baik daripada secara tunggal pada Alfisol, seperti pH tanah, bahan organik tanah, jumlah basa, kapasitas tukar kation, dan kadar N total. Aplikasi secara kombinasi lebih menguntungkan daripada secara tunggal untuk kadar P tersedia (7 dan 112 hst) pada tanah Alfisol dan Litosol dan khususnya kadar N total tanah pada 7 hst.

Kata kunci: produksi, biomasa, tanah, keberlanjutan

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementrian Pertanian tahun 2013, luas lahan suboptimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha. Lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%), lahan pasang surut seluas 9,3 juta ha (10,1%), lahan kering iklim kering seluas 7,8 juta ha (8,2%), lahan gambut seluas 4,7 juta ha (5,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kab. Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan dan penggunaan lahan pertanian berkurang, dan ketidakmungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada di bawah kapasitas lapang.

Pada umumnya luas wilayah di Kabupaten Malang sebagian besar adalah bertekstur sedang 248.142,51 Ha atau 74,12 % dari luas wilayah. Tanah dengan tekstur halus mempunyai luas wilayah sebesar 82.944,49 Ha atau 24,79 % sedangkan tanah dengan tekstur kasar mempunyai luas sebesar 3.650,00 Ha atau 1,09 % dari seluruh luas wilayah Kabupaten Malang. Jenis tanah yang ada di Kabupaten Malang terdiri dari jenis tanah andosol, latosol, mediteran, litosol, alluvial, regosol dan brown forest. Penyebaran jenis tanah ini tidak seluruhnya tersebar di kecamatan-kecamatan yang ada di Kabupaten Malang.

Proses pembentukan dan perkembangan tanah dipengaruhi bahan induk, topografi, iklim, organisme, dan waktu (Hanafiah, 2005). Kelima faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mengelola tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas rendah. Informasi dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim (2013), bahwa produksi jagung seluas 218 ha sebesar 936,65 ton (4.3 ton/ha) dan produktivitas 42,97 (kw/ha).

Masalah yang seringkali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai topsoil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas

adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering, diantaranya penataan lahan, pengelolaan air, pengelolaan tanaman, menggunakan bentuk-bentuk pola tanam, sistem pertanian konservasi tanah, pengelolaan bahan pembenah tanah, pengelolaan pemupukan anorganik, dan pengendalian gulma. Beberapa hasil penelitian tentang penggunaan bahan pembenah tanah untuk merehabilitasi lahan kering terdegradasi telah dilakukan, seperti zeolit (Sutono dan Agus, 1998), pupuk kandang (Abdurahman *et al.*, 2000), biomassa flemingia dan sisa tanaman (Nurida, 2006), dan biomassa tumbuhan dominan di lahan kering (Djoko, 2006). Beberapa penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung (Nurida *et al.*, 2012), pada tanah sulfat masam di Kalimantan (Masulili *et al.*, 2010), lahan kering beriklim kering (Dairiah *et al.*, 2012), tanah lempung berpasir di Lombok Utara (Sukartomo *et al.*, 2011 dan Suwardji *et al.*, 2012), dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan (Tambunan *et al.*, 2014), dan tanah yang sedang terdegradasi (Widowati *et al.*, 2014).

Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Di samping dapat memperbaiki sifat tanah, penggunaan biochar pada tanah tropika dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah dalam jangka panjang (Glaser *et al.*, 2002; Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2008), meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007), memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah dan menurunkan kekuatan tanah (Chan *et al.* (2007), memegang air pada tanah bertekstur pasir (Sutono *et al.*, 2012). Steiner *et al.* (2008) dan Widowati *et al.* (2012) melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, pemupukan NPK pada tanah typic Dystrudepts (Sudjana, 2014), meningkatkan retensi air dan kapasitas menyimpan air tanah (Santi dan Goenadi, 2012). Penggunaan biochar dapat meningkatkan retensi air dan hara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik di lahan kering beriklim kering di NTT. Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan pori aerasi dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014) menyebutkan biochar serasah jagung 20

t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t/ha dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan apalagi untuk lahan yang belum dimanfaatkan. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013), konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos dan pembakaran sisa tanaman. Gugus-gugus fungsional bahan organik mampu mengikat air karena agregasi tanah yang lebih baik dalam membentuk pori-pori. Asai *et al.*, (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan nutrisi lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Kenaikan luas permukaan memberikan adsorpsi yang lebih besar dan ruang untuk retensi air dan nutrisi (Lehmann *et al.*, 2003).

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian variasi dalam karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar-pupuk organik pada karakteristik tanah. Kombinasi bahan organik yang berbeda sifat akan bermanfaat untuk mengembangkan produk yang sesuai dengan jenis tanah sehingga dapat meningkatkan reaksi lebih lanjut terhadap nilai hara.

1.2. Tujuan Khusus

1. Mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.
2. Mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap perubahan sifat kimia tanah dari agroekosistem lahan kering.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lahan Kering

Lahan kering menempati urutan terbesar pertama setelah lahan basah di Kabupaten Malang bagian Selatan. Beberapa lahan berasal dari bahan induk yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna, bahkan ada lahan yang tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik, ada pula yang ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik. Menurut Dinas Pertanian dan Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44% (49.52 ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Lahan kering sangat potensial dikembangkan dan perlu dioptimalkan karena terbatasnya lahan pertanian subur dan sebagian besar adalah lahan sub optimal. Lahan suboptimal yang paling luas ialah lahan kering yaitu 122,1 juta ha yang terdiri atas lahan kering masam 108,8 juta ha dan lahan kering iklim kering 13,3 juta ha (Mulyani dan Sarwani, 2013).

Beberapa masalah yang mempengaruhi kesuburan tanah di lahan kering adalah kemasaman tanah, ketersediaan air dan unsur hara rendah, kondisi fisik tanah yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, dan ketidakseimbangan diantara air dan udara. Ketidakseimbangan akan menjadi faktor pembatas yang dapat mengganggu keadaan optimumnya sehingga kurang menunjang produktivitas tanaman. Kemampuan tanah untuk menahan air dan unsur hara menjadi keutamaan dalam meningkatkan hasil tanaman. Menurut Haryono (2013), optimalisasi lahan sub optimal meliputi produktivitas, efisiensi produksi, kelestarian sumberdaya dan lingkungan serta kesejahteraan petani melalui intensifikasi dan ekstensifikasi lahan sub optimal yang terdegradasi atau terlantar.

Pengelolaan lahan kering dengan bahan organik yang bersifat labil telah sering dilakukan, namun penggunaan biochar yang bersifat stabil telah populer dalam dekade terakhir. Karena struktur aromatiknya, karbon biochar lebih stabil daripada karbon dalam biomassa asli sehingga dapat menurunkan laju dekomposisi bahan organik. Penggunaan mulsa, kompos, pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah, meski begitu dalam kondisi tropis, dimineralisasi sangat cepat (Tiessen *et al.*, 1994). Steiner *et al.*, (2007) mengemukakan bahan organik tanah (BOT) penting untuk kesuburan tanah karena mengandung 95% dari total nitrogen dan sulfur bersama dengan 20-75% dari fosfor dalam tanah, sumber penting dari energi dan nutrisi untuk mikroorganisme dan tanaman. BOT adalah jantung dari tanah sehingga keberadaannya tidak dapat diabaikan karena memperbaiki

sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Biochar adalah produk yang kaya karbon yang diperoleh dengan memanaskan biomassa dalam sistem tertutup di bawah pasokan oksigen yang terbatas dimaksudkan sebagai bahan amandemen tanah untuk menyerap karbon dan meningkatkan kualitas tanah. Konversi biomassa menjadi biochar dan menggunakan biochar sebagai amandemen tanah sebagai alternatif selain kompos (Srinivasarao *et al.*, 2013). Pengaruh agronomi dengan penambahan biochar telah ditemukan di berbagai lintang dengan kesuburan tanah yang rendah (Biederman dan Harpole, 2013; Liu *et al.*, 2013). Aplikasi biochar juga meningkatkan penyimpanan air tanah (Reverchon *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan oleh peningkatan kapasitas air kapiler tanah setelah aplikasi biochar sehingga menyebabkan peningkatan produktivitas budidaya tanaman, peningkatan aktivitas mikroba dalam tanah, dan tingkat yang lebih tinggi dari ketersediaan nutrisi, terutama P dan K (Biedermann dan Harpole, 2013). Kapasitas memegang air tanah (WHC) dan air yang tersedia (PAW) meningkat di tanah liat dan tanah lempung berpasir (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2014). WHC meningkat sebesar 11% pada biochar (9 t ha⁻¹) di tanah lempung berdebu, Finlandia Selatan (Karhu *et al.*, 2011). Peningkatan PAW karena dengan penambahan biochar memperbaiki struktur berpori (baik pori mikro dan meso) dan agregasi tanah (Obia *et al.*, 2016). Sifat kimia tanah juga diperbaiki seperti meningkatkan pH tanah (rasio Ca/Al yang lebih tinggi dan ketersediaan PO₄⁻³ dan kejenuhan basa meningkat) (Martinsen *et al.*, 2015); meningkatkan kapasitas retensi hara dan KTK tanah (Chan *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2006) dan dengan demikian mengurangi pencucian hara (Hale *et al.*, 2013; Martinsen *et al.*, 2014).

Setiap jenis tanah memiliki sifat dan ciri yang berbeda seperti luas permukaan partikel tanah yang sangat mempengaruhi kapasitas memegang air dan unsur hara. Setiap jenis biochar memiliki sifat-sifat yang berbeda berdasarkan kondisi produksi dan bahan baku yang digunakan. Naeem *et al.*, (2014) melaporkan variasi suhu pirolitik dan bahan baku akan mempengaruhi hasil dan komposisi hara biochar. Hampir setiap bahan organik dapat dikonversi menjadi biochar, namun karakter masing-masing bahan organik akan memiliki pengaruh pada sifat fisik, kimia, dan biologi tanah setelah dimasukkan ke dalam tanah. Kebutuhan jenis biochar dan pupuk organik yang sesuai merupakan upaya optimalisasi lahan kering untuk meningkatkan produktivitas tanaman di suatu jenis tanah. Hipotesis penelitian bahwa setiap jenis tanah merespon secara berbeda terhadap berbagai jenis biochar dan pupuk organik di lahan kering. Kabupaten Malang terluas ketiga di Pulau Jawa setelah Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Sukabumi di Provinsi Jawa Barat. Menurut Dinas Pertanian dan

Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44% (49.52 ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Kondisi lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan terdiri atas beberapa jenis tanah, diantaranya Litosol, Regosol, dan Mediteran yang secara alamiah mempunyai produktivitas yang rendah. Tanah tersusun dari mineral dan bahan organik yang berperan penting dalam menyediakan air dan unsur hara bagi keberlangsungan pertumbuhan tanaman. Bahan induk tanah akan mempengaruhi bahan organik dan atau mineral tanah. Litosol tergolong tanah muda yang berasal dari batuan beku atau sedimen yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna dan belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal. Litosol bukan merupakan tanah yang subur sehingga tidak banyak tanaman yang bisa ditanam. Entisol masih sangat muda dan baru tingkat permulaan dalam perkembangan, berasal dari bahan induk material vulkanik dan memiliki butir kasar. Umur tanah yang masih muda menjadikan miskin bahan organik sehingga tanah tidak dapat menyimpan air dan mineral yang dibutuhkan tanaman dan kurang menguntungkan bagi sebagian tumbuhan. Alfisol merupakan tanah hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen, mampu menyediakan dan menampung air yang banyak, bersifat asam, dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat. Tanah ini berwarna kecoklatan, keras dan tidak subur.

Lahan kering banyak menghadapi kendala, diantaranya adalah ketersediaan air, kemasaman tanah dan rendahnya kandungan bahan organik tanah. Hal ini menjadi penyebab kemampuan tanah dalam menyimpan air dan ketersediaan unsur hara menjadi rendah, ketidakseimbangan ruang pori tanah dalam mengisi air dan oksigen, dan bahkan tanah menjadi keras pada saat kering dan lunak pada saat basah. Akibat lebih lanjut adalah ketidakmampuan tanaman untuk tumbuh secara normal dan akan mengganggu hasil tanaman. Pengelolaan haradengan bahan organik merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan lahan kering. Bahan organik tanah merupakan faktor penting yang menentukan kesuburan dan produktivitas tanah. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik dapat meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman. Reaktivitas biochar dan atau pupuk organik di dalam tanah dapat bervariasi dalam mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan bahan organik yang bersifat mudah maupun sulit dilapuk sebagai alternatif yang memiliki keuntungan masing-masing, baik sebagai penyedia unsur hara maupun pembenah tanah. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan

kemampuan tanah menahan air, kelembaban tanah, pH tanah, penyediaan unsur hara, efisiensi pemupukan dan memperbaiki agregasi tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan manfaat penggunaan, seperti aplikasi 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung dan 40 t ha⁻¹ serasah jagung meningkatkan 242,95% P tersedia dan 10,4% KTK tanah (Alfisol) di lahan kering Malang Selatan. Pemberian 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%). Tinggi tanaman jagung berumur 49 HST berkisar 71,13 dan 92,90 cm (Sonia *et al.*, 2014). Peng *et al.* (2011) melaporkan bahwa biomassa jagung meningkat sebesar 64% (tanpa NPK) dan 146% (dengan NPK) setelah amandemen biochar pada tanah Ultisol. Aplikasi biochar dan atau pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah. Pengaruhnya tergantung pada kualitas biochar dan pupuk organik serta bisa lebih nyata pengaruhnya pada tanah yang telah sangat melapuk dan tidak subur. Liang *et al.* (2006); Oguntunde *et al.* (2008); Asai *et al.* (2009) melaporkan biochar dapat meningkatkan sifat kimia tanah (misal pH, KTK, kation) dan sifat fisik (seperti retensi air tanah dan konduktivitas hidrolik).

Lahan kering di Kabupaten Malang sangat potensial dikembangkan untuk pertanian. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Secara geografis, Desa Purwodadi (Kecamatan Donomulyo) terletak di dataran tinggi dengan jenis Litosol. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm), tergolong tanah muda yang miskin unsur hara, bukan termasuk tanah yang subur dan tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah lainnya. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong untuk ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (tanah Mediteran) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/ tadah hujan, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak ada tanaman yang bisa tumbuh. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Bahan baku dan kondisi produksi biochar

dapat mempengaruhi kualitas biochar maupun dampaknya pada perubahan sifat-sifat tanah. Demikian pula jenis pupuk organik yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pupuk itu sendiri maupun pengaruhnya ketika diaplikasikan di dalam tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda.

Lahan kering menghadapi kendala internal di dalam tanah maupun lingkungan eksternal. Kendala internal berhubungan dengan bahan induk tanah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan tanah, yang lebih lanjut akan mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas tanaman rendah karena keterbatasan air. Sistem pengelolaan lahan dengan masukan bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk berproduksi. Dalam jangka panjang diperlukan pengelolaan tanah di wilayah lahan kering khususnya di Kabupaten Malang supaya produktivitas tanah meningkat dan mengurangi keterbatasan lahan produktif.

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Namun hingga kini dampak penggunaan pupuk organik secara berlanjut belum nampak. Karena bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis. Tidak demikian dengan bahan organik yang bersifat stabil seperti biochar. Biochar adalah teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/ biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah baik sebagai unsur hara dan retensi hara. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan.

Pemberian biochar cukup satu kali aplikasi namun dapat memberi efek susulan dalam jangka panjang sehingga dapat mewujudkan pertanian berlanjut. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP₃₆ dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Alfisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga

musim tanam. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Kondisi ini dapat mengawetkan karbon dan nitrogen organik sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan dan efisiensi usahatani.

Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi tentang pengaruh jenis biomasa sebagai bahan baku yang mempengaruhi karakteristik biochar-pupuk organik dan dampaknya di dalam tanah dan tanaman dari agroekosistem lahan kering, peningkatan kualitas bahan pembenah tanah dengan menggunakan karbon stabil dan labil untuk memaksimalkan dampaknya dalam mengelola lahan kering iklim kering.

2.2. Karakteristik biochar

Biochar merupakan substansi arang kayu yang berpori (*porous*), sering juga disebut *charcoal* atau agri-char. Biochar adalah produk padat pirolisis, kaya karbon, hasil konversi biomassa secara termokimia di dalam wadah tanpa oksigen atau suplai oksigen terbatas. Karakteristik biochar selain ditentukan oleh bahan bakunya, juga ditentukan oleh proses pirolisis. Suhu, tekanan parsial O₂, uap, dan karbon dioksida (CO₂) mengontrol jumlah abu mineral dalam biochar (Bridgwater dan Boocock 2006). Selama degradasi termal, ion yang sangat *mobile* (K dan Cl) akan mulai menguap pada suhu yang relatif rendah (Yu et al. 2005). Kalsium (Ca) terutama terletak di dinding sel dan terikat dengan asam organik (Marschner 1995). Ion Ca dan Si dilepaskan selama degradasi pada suhu yang lebih tinggi dari K dan Cl (Bourke et al. 2007). Magnesium (Mg) baik ionik maupun kovalen terikat dengan molekul organik dan hanya menguap pada temperatur tinggi. Fosfor (P) dan sulfur (S) berhubungan dengan senyawa organik kompleks di dalam sel dan relatif stabil pada suhu rendah. Kadar nitrogen dikaitkan dengan sejumlah molekul organik yang berbeda dan dapat dilepaskan pada suhu relatif rendah (Schnitzer et al. 2007).

Tabel 1. Karakteristik biochar Jengkok Tembakau

Parameter	Satuan	Hasil
C-Organik	%	27,06
C/N ratio	-	18,66
Moisture	%	18,49
Arsenic (As)	ppm	0,27
Mercury (Hg)	ppm	0,19
Lead (Pb)	ppm	< 0,1
Cadmium (Cd)	ppm	< 0,1
pH (10% in water)	-	9,74
Nitrogen (N)	%	1,44
Total P ₂ O ₅	%	0,62
K ₂ O	%	3,66
Total Iron (Fe)	ppm	1680,5
Available Iron (Fe)	ppm	1,6
Manganese (Mn)	ppm	229,2
Zinc (Zn)	ppm	72,1

Jengkok tembakau yang diolah dengan proses *pyrolysis* menghasilkan biochar yang telah memenuhi syarat sebagai bahan pembenah dan atau pupuk organik tanah sesuai dengan Permentan No 70 tahun 2011. Bahkan K₂O memiliki kadar 3,66 % jauh lebih tinggi daripada SNI 19-7030-2004 tentang standard kualitas kompos yang hanya 0,2 %. Kadar cemaran logam juga dibawah ambang batas maksimal Permentan dan SNI. Kandungan NPK biochar dari material jengkok tembakau juga lebih tinggi dibandingkan kayu, cangkang kelapa, dan sekam padi pada penelitian yang dilakukan oleh Widowati *et al.* (2014).

2.3. Pengaruh pemberian biochar terhadap kesuburan tanah

Di dalam tanah, biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Dalam jangka panjang, biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon-nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Biochar dapat digunakan secara luas sebagai agen untuk memperbaiki tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya, remediasi dan/atau proteksi melawan polusi lingkungan dan sebagai agen mitigasi gas rumah kaca (Lehmann & Joseph, 2015). Hasil-hasil penelitian terkini, mengindikasikan bawa biochar memiliki porositas yang tinggi (Downie *et al.*, 2009), luas dan muatan permukaan yang tinggi sehingga dapat memperbaiki struktur tanah, bobot volume tanah, meningkatkan kapasitas tanah menyimpan air dan hara (Baronti *et al.*, 2014) dapat menambah unsur hara (Biederman & Harpole, 2013; Ding *et al.*, 2016), dan juga menjadi hunian yang aman dan nyaman bagi organisme tanah (Lehmann *et*

al., 2011). Lebih dari itu, biochar lebih stabil bertahan di dalam tanah dibandingkan dengan bahan pembenah tanah lainnya sehingga fungsinya di dalam tanah bersifat jangka panjang (Wang *et al.*, 2016).

Respon tanaman terhadap biochar sangat bergantung kepada material dan cara pembuatan biochar (Major *et al.*, 2009). Kandungan mineral biochar juga akan bervariasi bergantung kepada material yang digunakan (Yao *et al.*, 2012). Biochar secara langsung memberikan efek pada tanaman kacang-kacangan seperti meningkatkan fiksasi N biologis (Rondon *et al.*, 2007; Mia *et al.*, 2014), meningkatkan toleransi kekeringan (pertumbuhan, efisiensi penggunaan air dan hubungan antara tanah-tanaman (emisi gas N₂O tanah) (Kammann *et al.*, 2011), dan meningkatkan potensial air daun (Baronti *et al.*, 2014). Pemberian *biochar* mampu meningkatkan ketersediaan air dalam tanah. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian jenis *biochar* tempurung kelapa sebesar 21,55% vol dan diikuti oleh pemberian jenis *biochar* sekam padi serta pori air tersedia terendah terdapat pada jenis *biochar* kayu. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian dosis *biochar* 45 t ha⁻¹ dan diikuti oleh pemberian dosis *biochar* dosis 30 t ha⁻¹ dan 15 t ha⁻¹.

Biochar diproduksi dari berbagai biomassa dan umumnya bisa digunakan untuk perbaikan tanah. Kondisi proses yang digunakan dalam studi di berbagai literatur sering menyulitkan jika ingin membandingkan hasil mengenai efek sifat bahan baku dari karakteristik biochar. Demikian pula efektivitas penggunaan biochar dapat bervariasi, dan sumber biomassa yang digunakan dapat mempengaruhi karakterisasi biochar. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan perbedaan karakteristik biochar dari bahan baku dan kondisi produksi, seperti yang telah dilaporkan oleh Widowati *et al.*, (2011, 2014, 2017); Peng *et al.* (2011); Ammu *et al.* (2015). Setelah penambahan biochar ke tanah akan terlihat karakteristik biochar dapat menyebabkan variasi dalam mempengaruhi proses di dalam tanah dan pertumbuhan tanaman. Variasi dalam karakteristik biochar memerlukan kajian lebih lanjut tentang dampak dari karakteristik biochar maupun pupuk organik pada sifat-sifat tanah. Windeatt *et al.* (2014) menyebutkan sifat agronomi penting dari biochar bila digunakan dalam amandemen tanah meliputi porositas, pH, kapasitas air memegang, kandungan hara dan kapasitas tukar kation. Menurut Enders *et al.* (2012), biochar memiliki kandungan yang mudah menguap yang rendah dan karbon yang tinggi bila dibandingkan dengan biomassa berbagai bahan baku. Purakayastha *et al.* (2013) menemukan bahwa kapasitas memegang air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung

(456%). KTK bervariasi dari bahan baku yang berbeda, mulai 4,5-40 cmol / kg (Uzoma *et al.*, 2011). Metode produksi tidak menyebabkan variasi yang signifikan dalam kandungan P tetapi bahan baku menghasilkan variasi P dalam biochar yang dihasilkan (Ammu *et al.*, 2015). Bahan baku biochar dan kondisi produksi dapat mempengaruhi kualitas biochar. Sifat heterogen jenis biochar menyebabkan penilaian kualitas biochar berbeda ketika diterapkan pada berbagai kondisi tanah, khususnya di lahan kering Kabupaten Malang. Oleh karena itu dipandang perlu untuk menilai sifat tanah dari aplikasi jenis biochar dan pupuk organik pada pertanaman jagung di berbagai jenis tanah di lahan kering di Kabupaten Malang Selatan.

Sebagian besar kation-kation Ca^{2-} , Mg^{2+} dan K^{+} yang ada dalam tanah ber biochar tidak terikat oleh gaya elektrostatis, tetapi hadir sebagai garam terlarut oleh karena itu mudah tersedia dan diserap oleh tanaman (Glaser *et al.*, 2002). Pada fase awal keberadaan biochar dalam tanah, oksidasi abiotik juga dijumpai lebih penting dari pada oksidasi biotik dalam pembentukan muatan permukaan negatif dan KTK (Cheng *et al.*, 2006). Meningkatnya KTK tanah setelah aplikasi biochar disebabkan oleh adanya pembentukan gugus Karboksilat hasil oksidasi abiotik yang terjadi pada permukaan luar partikel biochar (Cheng *et al.*, 2006). Hal inilah yang selalu dijadikan alasan penguat meningkatnya KTK setelah aplikasi biochar dalam tanah. Menurut Sohi *et al.* (2009), KTK tanah merupakan suatu ukuran seberapa baik hara diikat oleh tanah sehingga dapat menahan hara akibat proses *leaching* ke bagian bawah tanah maupun kehilangan permukaan tanah.

Biochar merupakan karbon aktif yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat di dalamnya, biochar banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal atau lahan kering (Rondon *et al.*, 2007; Hunt *et al.*, 2010). Bio-char dapat berfungsi sebagai pembenah tanah, meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memasok sejumlah nutrisi yang berguna serta meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah (Glasser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Steiner, 2007).

Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird *et al.* 2008). Namun, biochar tidak mampu menyediakan unsur hara secara langsung, tetapi secara tidak langsung biochar mampu mengurangi hilangnya hara melalui pelindian, sehingga efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan.

Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Biochar dapat

memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Kehilangan N melalui pemupukan dapat dikurangi dengan penambahan biochar (Steiner 2007). Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph 2009). Bahan dasar yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat biochar itu sendiri dan mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman (Gani 2009).

Abu merupakan bahan yang tersisa apabila biomassa dipanaskan hingga beratnya konstan. Salah satu unsur utama yang terkandung dalam abu adalah silika dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan. Kadar abu berhubungan positif dengan kandungan lignin bahan. Kadar SiO₂ berhubungan positif dengan kandungan lignin dan membentuk hubungan kuadratik sesuai dengan persamaan $Y = 0,030x^2 - 1355x + 54,76$ ($R^2=0,763$) Komposisi fraksi abu biochar sebagian besar tergantung pada kandungan mineral dalam bahan baku karena sebagian besar unsur-unsur anorganik tidak menguap pada suhu pirolisis. Bahan baku dan proses pirolisis menentukan jumlah dan distribusi bahan mineral pada biochar (Amonette dan Joseph 2009). Bahan yang berasal dari kayu umumnya memiliki kadar abu rendah (<1% berat), sedangkan rumput, jerami, dan biji-bijian (sekam) memiliki kandungan silika yang tinggi mencapai 24% (Raveendran et al. 1995). Sebagian besar kandungan mineral dalam bahan baku tersebut masih ada dalam biochar dan sebagian lagi hilang (C, H, dan O) selama pirolisis. Biochar dari pupuk organik dan limbah biasanya memiliki kandungan abu yang sangat tinggi. Biochar pukan (pupuk kandang) ayam dapat memiliki kandungan 45% abu dari bahan baku (Koutcheiko et al. 2007), sedangkan biochar tulang dapat mengandung mineral mencapai 84% dari bahan baku (Purevsuren et al. 2004).

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. TUJUAN

1. Mengevaluasi pengaruh pemberian biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada berbagai jenis tanah.
2. Mengkaji perubahan unsur hara dan sifat-sifat tanah dari berbagai jenis biochar-pupuk organik dan jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.

3.2. MANFAAT PENELITIAN

1. Memberikan informasi tentang karakteristik biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung, sekam padi, dan limbah industri tembakau (jengkok).
2. Membantu untuk manajemen tanah yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda sehingga mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapan biochar dan pupuk organik.
3. Memberikan informasi tentang perubahan bahan organik tanah setelah aplikasi biochar pada beberapa jenis tanah.
4. Memberi informasi tentang kontribusi unsur hara dari jenis biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah.
5. Memberi informasi tentang penggunaan jenis biochar-pupuk organik untuk meningkatkan sifat-sifat tanah dari beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.
6. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan produktivitas lahan kering pada beberapa jenis tanah.

IV. METODE PENELITIAN

4.1 Tanah penelitian dan produksi biochar

Tiga jenis tanah dari Kabupaten Malang bagian Selatan masing-masing dari tipe Litosol Ordo Entisol dari Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo terletak pada $112^{\circ}23'30'' - 112^{\circ}29'64''$ BT dan $8^{\circ}16'75'' - 8^{\circ}19'81''$ LS. Tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Afisol dari Kecamatan Kalipare terletak $21,95^0 - 29,61^0$ BT dan $9,40^0 - 16,48^0$ LS. Tanah Regosol Ordo Entisol dari Kecamatan Poncokusumo, berjarak tempuh ke ibu kota kabupaten kurang lebih sejauh 24 km. Sampel tanah komposit pada kedalaman 0-30 cm dari lahan kering digunakan pada percobaan pot di Kotamadya Malang.

Tiga jenis biochar dari biomasa (sekam padi dan tongkol jagung) diproduksi pada suhu $350-500^0\text{C}$ selama 4 jam dengan alat pirolisis *fixed bed* di Laboratorium Bioenergi Universitas Tribhuwana Tunggaladewi. Biochar dari limbah industri tembakau diproduksi pada suhu 700^0C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis *extrusion* Etia. Sekam padi kering dari penggilingan padi komersial, tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling dengan ukuran < 2 mm, biochar limbah industri tembakau (jengkok) dan sekam padi langsung diterapkan pada tanah. Pupuk organik yang digunakan kompos (sampah kota) dan pupuk kandang kotoran ayam (pukan). Kompos diambil dari Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Desa Mulyoagung Kecamatan Dau Kabupaten Malang. Pukan diambil dari peternakan PT. Java Comfeed di Kabupaten Malang

4.2 Rancangan percobaan

Percobaan menggunakan Rancangan Tersarang, faktor pertama adalah jenis tanah dan faktor kedua adalah biochar-pupuk organik yang tersarang pada faktor pertama. Faktor pertama meliputi tiga jenis tanah, yaitu Alfisol, Litosol, dan Entisol. Faktor kedua meliputi 12 perlakuan, yaitu: 1. Kontrol, 2. Biochar tongkol jagung (T), 3. Biochar sekam padi (S), 4. Biochar jengkok tembakau (J), 5. Kompos (K), 6. Pukan (A), 7. Biochar tongkol jagung-kompos (TK), 8. Biochar tongkol jagung-pukan (TA), 9. Biochar sekam padi-kompos (SK), 10. Biochar sekam padi-pukan (SA), 11. Biochar jengkok tembakau-kompos (JK), 12. Biochar jengkok tembakau-pukan (JA). Setiap perlakuan diulang 3 kali dan disediakan 8 tanaman sampel sehingga terdapat 864 polibag. Polybag ditempatkan secara acak pada setiap ulangan dengan jarak 80×25 cm antar polybag. Biochar dan pupuk organik diterapkan pada dosis 300 g pot^{-1} (tunggal) dan 150 g pot^{-1} (kombinasi) pada tanah sebanyak 9 kg. Penanaman

jagung hibrida varietas Pertiwi 3 setelah biochar dan pupuk organik di inkubasi 7 hari. Pemupukan 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ diberikan satu hari sebelum tanam, tetapi 110 kg K_2O ha⁻¹ dan 135 kg N ha⁻¹ diberikan saat tanaman berumur 7 HST (1/3 dosis) dan 28 HST (2/3 dosis). Pengamatan tinggi tanaman, luas daun, dan berat kering daun dan total tanaman (biomasa) diamati pada akhir pertumbuhan vegetatif maksimum, yaitu 56 HST sebanyak 2 tanaman sampel. Biomasa tanaman di atas tanah diperoleh dengan menimbang sampel tanaman yang telah dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 2 x 24 jam. Pengamatan produksi meliputi hasil jagung pipilan kering. Panen dilakukan setelah tanaman masak fisiologi pada umur 112 HST sebanyak 3 tanaman sampel. Analisis pertumbuhan tanaman dilakukan untuk mengetahui tanggapan tanaman terhadap perubahan lingkungan tanah, terdiri dari Indeks Luas Daun (ILD) dan Luas Daun Spesifik (SLA). ILD diperoleh dari besarnya luas daun per unit luas tanah (jarak tanam). SLA mencerminkan efisiensi pembentukan luas daun per satuan karbohidrat yang tersedia. SLA diperoleh dari hasil bagi luas daun dengan berat daun (cm² g⁻¹) (Data luas daun dan berat daun tidak ditampilkan). Sampel tanah awal dan karakteristik biochar dan pupuk organik dianalisa di PT Sucofindo Surabaya dan PT Gudang Garam, Tbk Gempol Pasuruan. Kadar N, P, K tanah diamati setelah inkubasi 7 HST dan dianalisa di Laboratorium Tanah Universitas Brawijaya.

Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan yang digunakan dan dilanjutkan dengan Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$ untuk melihat perbedaan diantara perlakuan.

V. HASIL DAN LUARAN PENELITIAN

5.1. Karakteristik biochar, pupuk organik, dan tanah awal

Bahan baku merupakan faktor utama yang mempengaruhi karakteristik biochar. Kadar N, K, Ca, Mg, dan Na dari biochar jengkok tembakau lebih besar dari biochar tongkol jagung lebih besar dari biochar sekam padi. Total C dan KTK dari biochar tongkol lebih besar dari biochar jengkok lebih besar dari biochar sekam. Kadar N, P, dan C organik dari pupuk lebih besar dari kompos. KTK kompos lebih besar dari pupuk (Tabel 2). Setiap biochar maupun pupuk organik memiliki keunggulan masing-masing yang akan sinergis apabila digunakan bersama. Pengaruh penggunaan biochar dan pupuk organik secara bersama maupun tunggal menjadi kajian yang menarik untuk dipelajari khususnya yang berkaitan dengan produksi tanaman jagung. Setiap jenis bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah merupakan masukan yang dapat meningkatkan kesuburan tanah terutama dari kadar bahan organik tanah.

Setiap tanah memiliki karakteristik sifat dan ciri yang berbeda. Oleh karenanya setiap jenis tanah akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Kandungan bahan organik tanah yang tinggi merupakan sumber penyediaan N dalam tanah. Tingkat kesuburan tanah Litosol lebih baik daripada Alfisol, meskipun kedua jenis tanah bertekstur liat. Berbeda dengan Entisol bertekstur pasir berlempung (Tabel 2).

Sifat kimia tanah dari ketiga jenis tanah meningkat setelah aplikasi biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun bersama. Hasil analisis nested design terhadap nilai pH, C organik, N, P, K, Ca, Mg, Na, jumlah basa menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Hal ini diamati pada 7 hari, 60, dan 112 hari setelah penerapan biochar-pupuk organik. Nilai signifikan $< \alpha(=0.05)$ yang menunjukkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel pH, C organik, N, P, K, Ca, Mg, Na, jumlah basa setelah inkubasi 7 hari, saat pertumbuhan vegetative maksimum, dan panen. Demikian pula signifikan pada variabel kejenuhan basa dan kapasitas tukar kation pada 112 hari (panen). Penggunaan biochar (sekam padi, tongkol jagung, jengkok tembakau) dan pupuk organik (pupuk kandang kotoran ayam dan kompos) pada jenis tanah (Litosol, Alfisol, Entisol) berpengaruh nyata terhadap perubahan sifat kimia tanah.

Peningkatan sifat kimia tanah dengan pemberian biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun bersama akan berdampak positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung.

Tabel 2. Karakteristik biochar dan pupuk organik dan tanah awal

	Karakteristik biochar dan pupuk organik					Karakteristik jenis tanah		
	Biochar sekam padi	Biochar tongkol jagung	Biochar jengkok tembakau	Pupuk kandang kotoran ayam	Kompos	Litosol	Alfisol	Entisol
Total C (%)	29,8	45,6	40					
C organik (%)				25,02	15,58	1,36	0,72	0,48
pH H ₂ O						6,4	5,3	5,6
pH KCl 1N						6,1	5	5,3
C/N						8	7	7
Ec (mili siemens)	2,56	4,67	16,45	12,65	1,31			
KTK cmol (+) /kg	19,53	40,12	34,62					
KTK me/100g				37,78	59,03	32,68	30,43	12,4
Abu (%) (Ash)	53,4	23,6	32,8					
N (%)	0,57	0,84	1,83	4,05	2,6	0,17	0,1	0,07
P (%)	0,14	0,46	0,44	11,62	3,87			
P (mg kg ⁻¹)						45,65	45,65	10,52
K (%)	1,71	3,96	5,15	0,29	0,04			
K (me/100g)						0,35	0,34	0,36
S, SO ₄ (%)	0,22	0,41	0,42	0,36	0,29			
Na (%)	0,33	1,63	1,83	1,81	1,77			
Na (me/100g)						0,37	0,37	0,31
Ca (%)	0,92	2,45	3,88	1,69	1,94			
Ca (me/100g)						25,83	12,44	5,14
Mg (%)	0,03	0,28	0,36	0,35	0,44			
Mg (me/100g)						1,42	4,73	0,79
Mn (%)	0,08	0,03	0,04	0,04	0,04			
Jumlah basa (me/100g)						27,97	17,88	6,6
KB (%)						86	59	53
Pasir (%)						11	9	86
Debu (%)						24	15	3
Liat (%)						65	76	11
Tekstur						Liat	liat	Pasir berlempung

Aplikasi biochar dan pupuk organik memiliki dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada ketiga jenis tanah. Hasil analisis pada jenis tanah menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman, biomasa tanaman, ILD, dan jagung pipilan kering. Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tinggi tanaman dan biomasa tetapi berpengaruh terhadap ILD, SLA, jagung pipilan kering. Hasil analisis biochar dan pupuk organik pada Entisol dan Litosol masing-masing menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada Entisol dan Litosol masing-masing biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap semua variabel yang diukur. Namun demikian pada Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh signifikan

terhadap tinggi tanaman, ILD, jagung pipilan kering (Tabel 3). Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Gambar 1 - 5.

Tabel 3. Hasil analisis nested design

Variabel pengamatan	Nilai signifikan				
	Jenis tanah	Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah	Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	Biochar dan pupuk organik pada Entisol	Biochar dan pupuk organik pada Litosol
Tinggi tanaman	(0.000) < $\alpha(=0.05)$	0.058 > $\alpha(=0.05)$	(0.000) < $\alpha(=0.05)$	(0.000) < $\alpha(=0.05)$	(0.000) < $\alpha(=0.05)$
BK biomasa	0.010 < $\alpha(=0.05)$	0.079 > $\alpha(=0.05)$	0.152 > $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$
ILD	0.028 < $\alpha(=0.05)$	0.0000 < $\alpha(=0.05)$	0.001 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$
SLA	0.610 > $\alpha(=0.05)$	0.045 < $\alpha(=0.05)$	0.111 > $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$
BK jagung pipilan kering	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$	0.000 < $\alpha(=0.05)$

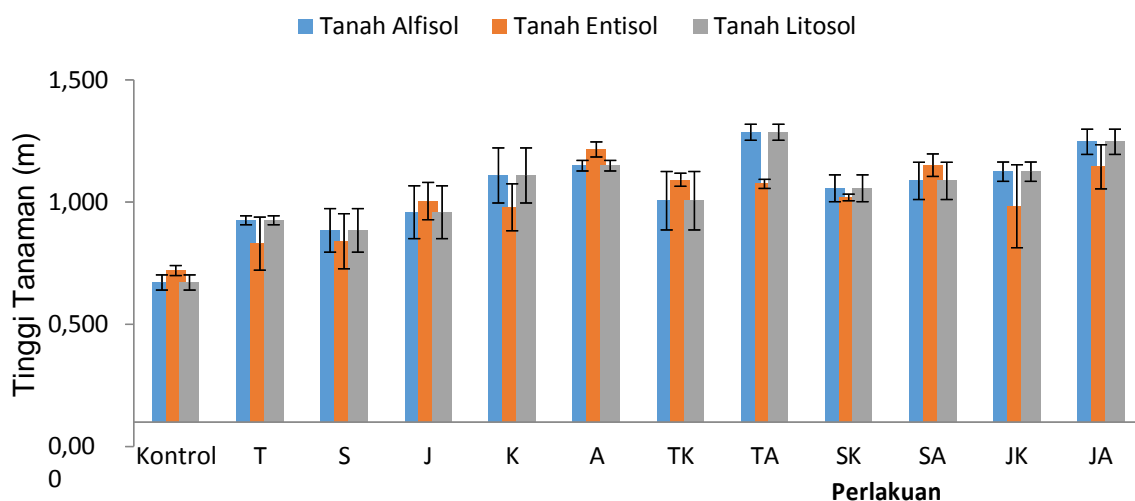
5.2. Pertumbuhan Tanaman

5.2.1. Tinggi tanaman

Pengaruh perlakuan pada tinggi tanaman disajikan pada Gambar 1. Secara umum, perlakuan biochar dan pupuk organik meningkatkan tinggi tanaman pada ketiga jenis tanah. Aplikasi biochar kombinasi pupuk organik menunjukkan tinggi tanaman yang lebih baik daripada penerapan secara tunggal. Tinggi tanaman ditingkatkan secara signifikan dengan perlakuan TA yang tidak berbeda nyata dengan JA pada Alfisol dan Litosol. Biochar dan pupuk organik berisi beberapa nutrisi tanaman penting (Tabel 2) yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian inkubasi tentang karakterisasi jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik beberapa jenis tanah (Widowati *et al.*, 2017). Perbaikan sifat fisik tanah liat lebih baik menggunakan kombinasi jenis biochar dengan pupuk organik. Lebih lanjut dilaporkan bahwa kombinasi biochar tongkol dengan pukan pada Litosol meningkatkan porositas dan pori makro, masing-masing sebesar 14% dan 21-24%. Kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas dan pori makro pada Alfisol, berturut-turut sebesar 21% dan 64% disamping itu juga pori mikro menurun 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1%. Biochar jengkok dapat menurunkan pori

meso Litosol sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada Alfisol. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi pukan dengan biochar sekam maupun dengan biochar tongkol, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos pada litosol. Berbeda pada tanah liat, aplikasi pukan (A) menghasilkan tinggi tanaman terbaik pada Entisol. Sebagaimana yang dilaporkan Widowati *et al.* (2017), pori makro menurun 21% hanya dengan pukan pada Entisol.

Asai *et al.* (2009) menyatakan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori, dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan nutrisi lebih baik. Peningkatan porositas tanah meningkatkan luas permukaan tanah sehingga air lebih baik menembus ke dalam tanah. Luas permukaan dan porositas biochar berpotensi signifikan pada kapasitas mengikat air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Sohi *et al.*, 2010). Penambahan biochar juga secara signifikan meningkatkan kandungan air yang tersedia dalam tanah dengan meningkatkan jumlah air dipertahankan dalam tanah (kapasitas air lapangan) dan memungkinkan tanaman untuk menarik kadar air tanah dan menurunkan sebelum layu (Koide *et al.*, 2015).

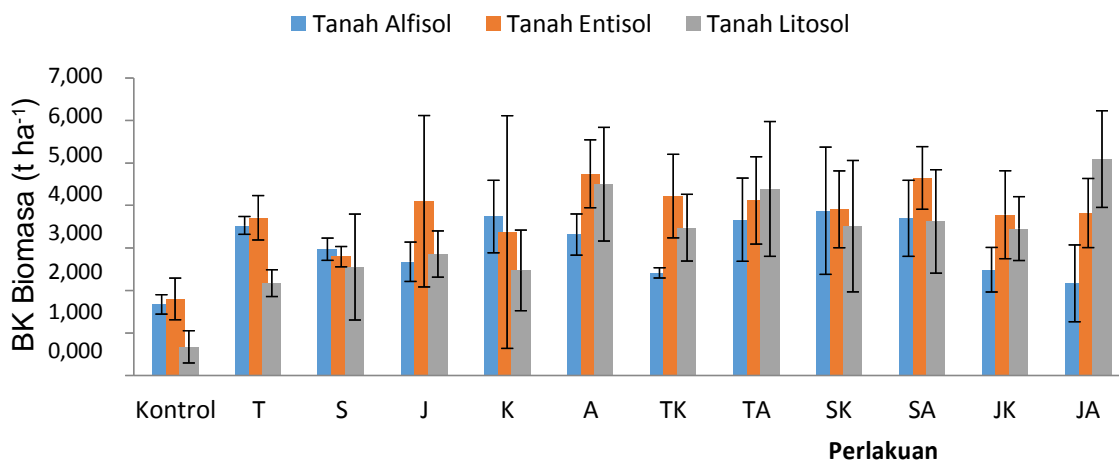


Gambar 1. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tinggi tanaman pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

5.2.2. Biomasa tanaman

Biomasa tanaman merupakan hasil bersih fotosintesis yang ditunjukkan sebagai bahan kering dari organ-organ tanaman pada suatu tanaman dalam suatu saat tertentu. Total

berat kering tanaman di atas tanah dipanen sesaat tanaman muncul bunga betina sebagai tanda bahwa tanaman memasuki fase pertumbuhan vegetatif maksimal pada tanaman jagung. Biomasa kering tanaman meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik pada ketiga jenis tanah, yaitu 1,7 t ha⁻¹ menjadi 2,2 – 3,9 t ha⁻¹ (Alfisol); 1,8 t ha⁻¹ menjadi 2,8 – 4,7 t ha⁻¹ (Entisol); dan 0,7 t ha⁻¹ menjadi 2,2 – 5,1 t ha⁻¹ (Litosol). Sebagian besar penggunaan biochar dan pupuk organik menunjukkan peningkatan biomasa yang relatif sama pada Alfisol dan Entisol. Biomasa tanaman ditingkatkan secara signifikan pada perlakuan JA (Litosol) yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan A (Entisol). Penerapan biochar jengkok kombinasi pukan menunjukkan biomasa tertinggi dibandingkan aplikasi secara tunggal pada Litosol, yaitu 5,1 t ha⁻¹ (JA); 2,9 t ha⁻¹ (J); dan 4,5 t ha⁻¹ (A). Produksi biomasa tanaman rendah ketika hanya menerapkan biochar jengkok tetapi meningkat 76% ketika dikombinasi dengan pukan. Pupuk kandang telah memberi kontribusi hara (khususnya N dan P) yang diperlukan untuk peningkatan produksi biomassa pada Litosol. Biochar jengkok memiliki kadar N, K, dan Ca yang lebih tinggi dari biochar lainnya (Tabel 2). Produksi biomasa meningkat dari penerapan pukan yang dikombinasi biochar jengkok. Hal ini menjelaskan bahwa kombinasi biochar jengkok dan pukan saling sinergi untuk meningkatkan produksi biomasa tanaman jagung di Litosol. Efek positif penggunaan bersama biochar jengkok dan pukan menyebabkan produksi biomasa lebih besar daripada penggunaan secara tunggal pada Litosol. Ardakani *et al.* (2017) melaporkan juga bahwa biochar memiliki efek sinergis bila diterapkan dalam kombinasi dengan pupuk mineral atau berbagai jenis kompos. Pengaruh perlakuan terhadap biomasa tanaman pada Litosol berbeda pada Alfisol maupun Entisol. Produksi biomasa relatif sama dari penerapan ketiga jenis biochar yang diberikan secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik pada Entisol dan Alfisol (Gambar 2).



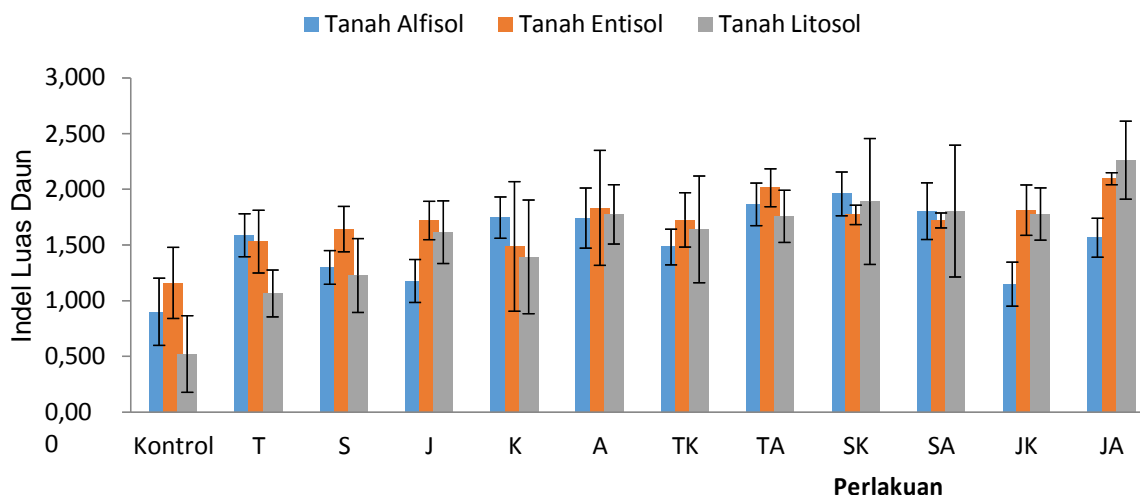
Gambar 2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap biomasa pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

5.3. Analisis Pertumbuhan Tanaman

5.3.1. Indek luas daun (ILD)

Luas daun menyatakan besarnya luas permukaan organ-organ tanaman yang melakukan fotosintesis atau organ yang mengandung klorofil. ILD merupakan perbandingan luas daun total dengan luas tanah yang ditutupi atau luas daun di atas suatu luasan tanah. Pemberian biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah meningkatkan ILD pada saat pertumbuhan vegetatif maksimum, yaitu 0,9 menjadi 1,1 – 1,9 (Alfisol); 1,2 menjadi 1,5 – 2,1 (Entisol); dan 0,5 menjadi 1,1 – 2,3 (Litosol). ILD tertinggi dari perlakuan SK tidak berbeda nyata dengan perlakuan TA pada Alfisol sedangkan perlakuan JA tertinggi pada Entisol dan Litosol (Gambar 3). Hal ini berarti bahwa daun di atas 1 m² permukaan tanah terdapat seluas 1,9 m² (Alfisol); 2,1 m² (Entisol); dan 2,3 m² (Litosol). Harga ILD > 1 menggambarkan adanya saling menaungi diantara daun yang mengakibatkan daun yang ternaungi pada lapisan bawah tajuk mendapat cahaya yang kurang dan karenanya dapat mempunyai laju fotosintesis yang lebih rendah (Sitompul dan Bambang, 1995).

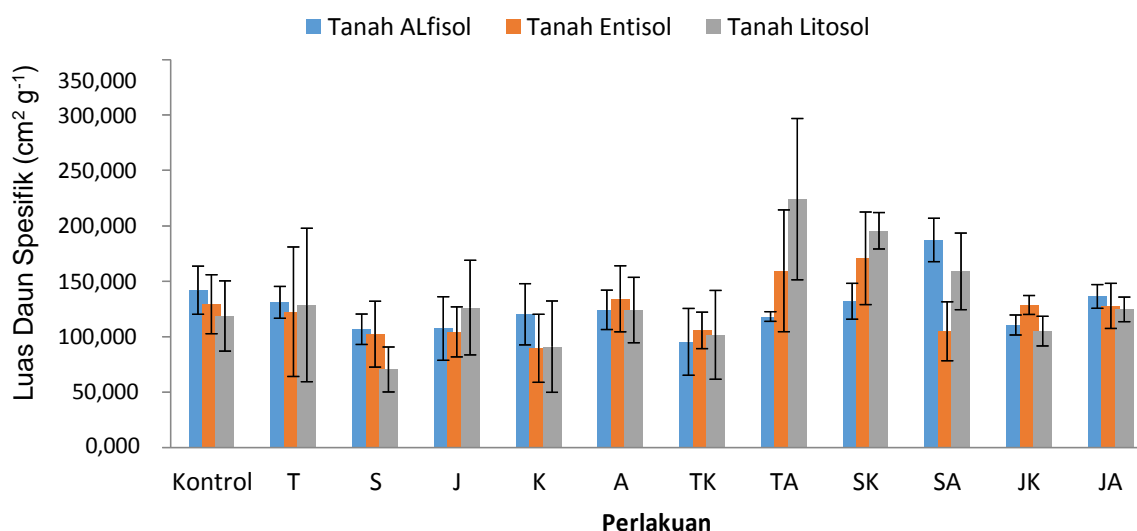
Nampaknya harga ILD sejalan dengan tinggi tanaman dan produksi biomasa pada Alfisol, Litosol maupun Entisol. Biomasa tanaman berasal dari serapan unsur hara dan air yang digunakan untuk membentuk bahan tanaman saat proses fotosintesis. Penyediaan nitrogen memberi pengaruh terhadap ILD dan karenanya berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan produksi biomasa tanaman (Tabel 3



Gambar 3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Indek Luas Daun pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

5.3.2. Luas daun spesifik

Luas daun spesifik menggambarkan tebal tipisnya helai daun sebagai akibat pembagian karbohidrat ke bagian daun. Luas daun spesifik tanaman jagung cenderung sama pada semua perlakuan, yaitu masing-masing $95 - 142 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Alfisol); $89 - 159 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Entisol); dan $70 - 195 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Litosol). Kecuali perlakuan biochar sekam dikombinasi pupuk kandang (SA) pada Alfisol; biochar sekam dikombinasi kompos (SK) pada Entisol; dan biochar tongkol dikombinasi pukan (TA) pada Litosol menunjukkan luas daun spesifik tertinggi, masing-masing $187 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Alfisol); $171 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Entisol); dan $224 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Litosol) (Gambar 4). Luas daun spesifik ditingkatkan secara signifikan dengan penerapan biochar kombinasi pupuk organik pada ketiga jenis tanah. Luas daun spesifik tertinggi dari perlakuan kombinasi dibanding perlakuan tunggal pada ketiga jenis tanah, yaitu $187 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (SA); $107 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (S); dan $124 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (A) pada Alfisol; $171 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (SK); $102 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (S); dan $89 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (K) pada Entisol; dan $224 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (TA); $129 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (T); dan $124 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ (A) pada Litosol. Hal ini berarti pembentukan luas daun per satuan bahan kering yang dialokasikan ke daun adalah tinggi pada pertumbuhan vegetatif maksimum. Keadaan demikian disebabkan oleh penyediaan karbohidrat untuk pertumbuhan daun lebih rendah dari laju penggunaannya untuk pembentukan luas daun. Pembesaran dan pembelahan sel berlangsung giat pada pertumbuhan vegetatif maksimum pada tanaman jagung.



Gambar 4. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Luas Daun Spesifik pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

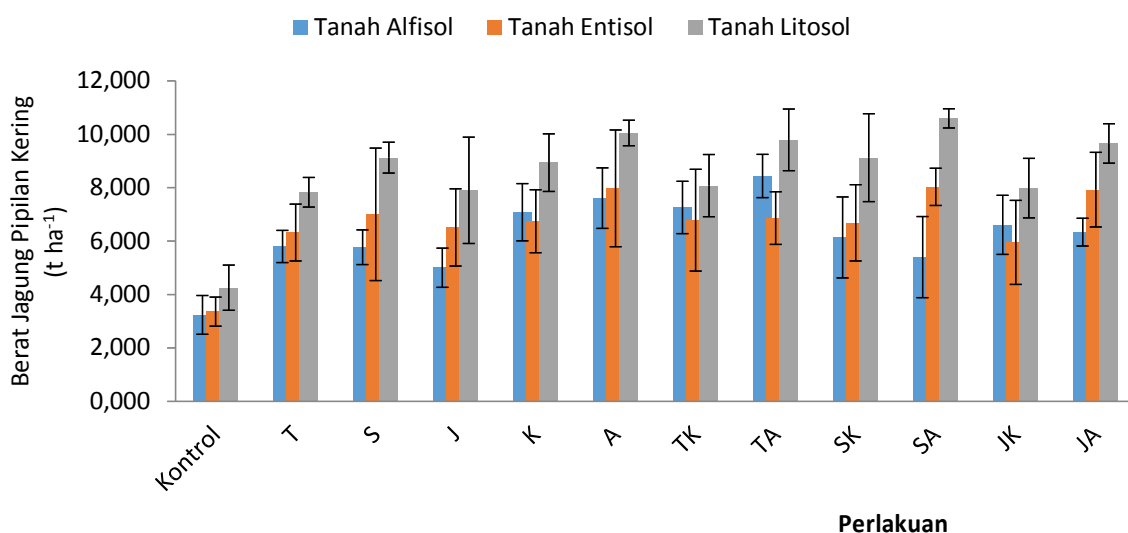
5.3.3. Hasil Jagung Pipilan

Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan hasil jagung dibanding kontrol, yaitu 3,2 menjadi 5,0 – 8,4 t ha⁻¹ (Alfisol); 3,4 menjadi 6 – 8,0 t ha⁻¹ (Entisol); dan 4,3 menjadi 7,8 – 10,5 t ha⁻¹ (Litosol). Hasil jagung terbaik pada Alfisol dan Litosol dari jenis biochar dan pupuk organik yang berbeda, yaitu masing-masing biochar tongkol dikombinasi pukan (Alfisol) dan biochar sekam dikombinasi pukan (Litosol). Hasil jagung pada perlakuan TA tidak berbeda nyata dengan A, masing-masing 8,4 t ha⁻¹ dan 7,8 t ha⁻¹ pada Alfisol. Kadar N, P, K tanah ditingkatkan dengan penerapan biochar tongkol dan pupuk kandang pada Alfisol (Tabel 2). Sementara itu hasil jagung dari perlakuan T sebesar 5,8 t ha⁻¹. Nampaknya hasil jagung tinggi dari perlakuan TA maupun A tidak konsisten dengan perlakuan SA dan JA yang mempunyai kadar N, P, K tinggi pada Alfisol. Hasil jagung ditingkatkan 7,7% (dibanding perlakuan A) dan 44,8% (dibanding perlakuan T) pada Alfisol. Penggunaan bersama biochar tongkol dan pupuk kandang memberi kontribusi yang lebih baik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada Alfisol. Masing-masing bahan organik saling sinergi untuk memberi manfaat bagi pertumbuhan dan hasil tanaman. Ouyang *et al.* (2014) menemukan bahwa aplikasi biochar meningkatkan aktivitas enzim tanah karena biochar meningkatkan nutrisi yang tersedia dalam tanah dan meningkatkan C organik terlarut dan aktivitas mikroba. Menurut Phares *et al.* (2017), aplikasi biochar tunggal atau biochar dikombinasi dengan pupuk kandang unggas meningkatkan P tersedia, KTK, dan jumlah karbon organik.

Meskipun kedua jenis tanah (Alfisol dan Litosol) bertekstur liat, namun menunjukkan tanggapan yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil. Jumlah karbon organik dari kedua jenis tanah liat berbeda nampaknya yang mempengaruhi hasil jagung terbaik. Jumlah karbon organik dari Litosol dua kali lebih tinggi dari Alfisol, yaitu masing-masing 1,36% dan 0,72%. Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisik dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). Pada Litosol, hasil jagung terbaik dari perlakuan SA (10,5 t ha⁻¹) tidak berbeda nyata dengan perlakuan A, TA, JA dengan rata-rata sebesar 9,8 t ha⁻¹. Pupuk kandang memiliki kadar N dan P yang lebih tinggi dibanding kompos (Tabel 2) sehingga memberi kontribusi hara N dan P yang lebih baik untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil jagung. Menurut Situmeang. (2017), dosis biochar 10,52 t ha⁻¹ dikombinasikan dengan kompos dan phonska memberikan hasil kering biji jagung tertinggi 13,71 t ha⁻¹, yang meningkat sebesar 106,67% bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa biochar, kompos, dan

phonska dengan nilai Efektivitas Agronomi Relatif (RAE) tertinggi (113,99%) yang sangat efektif untuk budidaya jagung di lahan kering.

Aplikasi jenis biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan hasil biji jagung pada lempung berpasir (Entisol). Hasil penelitian menunjukkan jenis biochar dan pupuk organik menunjukkan hasil jagung yang cenderung sama pada Entisol (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan pada tanah berpasir memberikan tanggapan yang sama terhadap hasil jagung. Entisol memiliki kadar karbon organik paling rendah dan persentase pasir paling tinggi dibanding jenis tanah lainnya. Widowati *et al.* (2017) melaporkan bahwa penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah lempung berpasir dapat meningkatkan pori meso 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%. Hasil penelitian ini sejalan dengan penerapan biochar pada tanah lempung berpasir di Lombok Utara, disampaikan bahwa aplikasi biochar berkontribusi terhadap pembenahan sifat fisika-kimia tanah, retensi hara dan air tanah, KTK sehingga hasil jagung menunjukkan respon positif (Sukartono *et al.*, 2012).



Gambar 5. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jagung pipilan kering pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

5.4. Pengaruh pemberian biochar dan pupuk organik terhadap sifat kimia tanah setelah inkubasi (7 hari), pertumbuhan vegetatif maksimum (60 hari), dan panen (112 hari)

Penelitian ini menggunakan nested design. Faktor 1 (Nest) adalah jenis tanah, yaitu Alfisol, Entisol dan Litosol. Faktor 2 (yang tersarang) adalah biochar dan pupuk organik. Biochar dan pupuk organik yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut:

Kontrol : Tanpa biochar maupun Biochar dan pupuk organik organik (Kontrol) T

: Biochar tongkol jagung

S : Biochar sekam padi

J : Biochar jengkok tembakau

K : Kompos

A : Pupuk organik kandang kotoran ayam

TK : Biochar tongkol-kompos

TA : Biochar tongkol- pupuk kandang kotoran ayam

SK : Biochar sekam padi- kompos

SA : Biochar sekam padi- pupuk kandang kotoran ayam

JK : Biochar jengkok tembakau-kompos

JA : Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam

5.4.1. pH (H₂O)

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 4, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil analisis nested design pH pada 7 hari

Sumber Keragaman	pH
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.090

Tabel 4. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel pH tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

- Tabel 4. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap pH Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 4. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- Tabel 4. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol
- Tabel 4. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- Tabel 4. menunjukkan nilai sig (0.090) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap pH tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Rata-rata	Alfisol		Rata-rata	Entisol		Rata-rata	Litosol	
		\pm Stdev	Notasi		\pm Stdev	Notasi		\pm Stdev	Notasi
Kontrol	6.050	± 0.050	a	6.050	± 0.050	a	6.800	± 0.000	bc
T	6.300	± 0.200	b	6.350	± 0.150	cd	6.850	± 0.050	c
S	6.300	± 0.200	b	6.050	± 0.050	a	6.700	± 0.000	abc
J	6.300	± 0.200	b	6.450	± 0.050	d	6.850	± 0.050	c
K	6.300	± 0.100	b	6.450	± 0.050	d	6.700	± 0.100	abc
A	6.500	± 0.000	c	6.200	± 0.100	abc	6.750	± 0.050	abc
TK	6.400	± 0.000	bc	6.100	± 0.100	a	6.800	± 0.000	bc
TA	6.450	± 0.050	bc	6.150	± 0.150	ab	6.800	± 0.000	bc
SK	6.350	± 0.150	bc	6.300	± 0.200	bcd	6.600	± 0.000	a
SA	6.400	± 0.100	bc	6.750	± 0.050	e	6.650	± 0.050	ab
JK	6.450	± 0.050	bc	6.200	± 0.000	abc	6.750	± 0.150	abc
JA	6.700	± 0.200	d	6.150	± 0.050	ab	6.750	± 0.050	abc

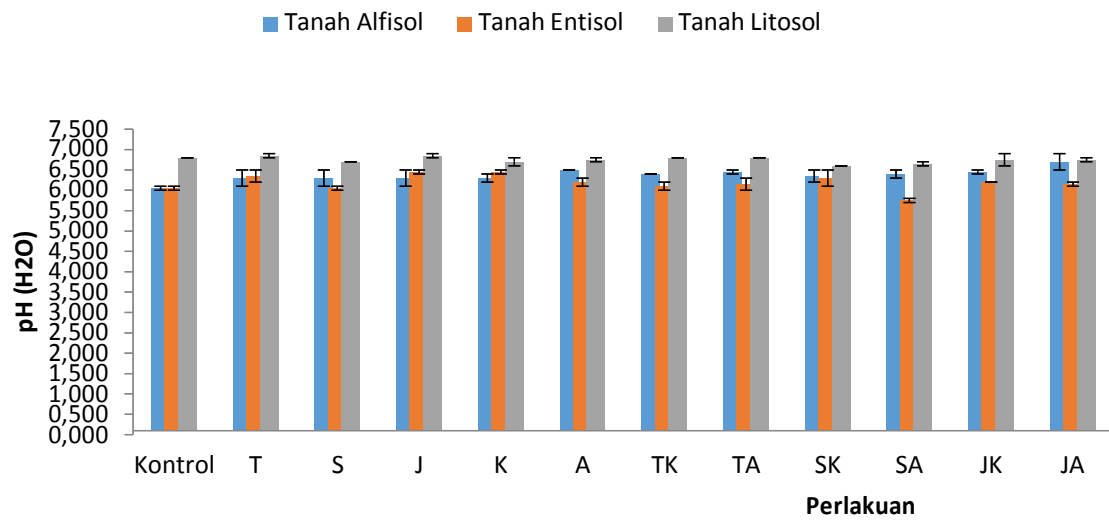
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan α =5%

Tabel 5 menunjukkan nilai pH tanah setelah 7 hari tanah diperlakukan dengan biochar-pupuk organik di ketiga jenis tanah dengan hasil yang bervariasi. Biochar dan pupuk organik yang diterapkan pada masing-masing jenis tanah menunjukkan perubahan nilai pH

terbaik yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa jenis tanah mempengaruhi perbedaan perubahan nilai pH dengan penambahan biochar dan pupuk organik. Pemberian pupuk kandang yang dikombinasi dengan biochar akan menghasilkan peningkatan nilai pH yang lebih baik pada Alfisol maupun Entisol pada 7 hari setelah aplikasi. Pada tanah Alfisol perlakuan aplikasi biochar jengkok – pupuk kandang kotoran ayam memiliki nilai pH rata-rata tertinggi (6,7) diantara perlakuan lainnya (6,3 – 6,5). Sedangkan untuk jenis tanah Entisol perlakuan kombinasi biochar jengkok tembakau-kompos mempunyai nilai pH tertinggi (6,8). Sedangkan pada jenis tanah Litosol nilai pH tertinggi dari perlakuan biochar tongkol jagung maupun biochar jengkok tembakau (6,9). Apabila ditinjau dari pengaruh perlakuan terhadap kontrol menunjukkan bahwa pada ketiga jenis tanah tersebut selama yang diaplikasikan dengan biochar serta kompos mampu menghasilkan nilai pH tanah yang berbeda nyata dan lebih besar dibandingkan kontrol.

pH adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan dan merupakan karakteristik penting dari tanah dalam hal pertumbuhan dan produksi tanaman. pH tanah Alfisol ditingkatkan dengan biochar dan pupuk organik yang diterapkan secara tunggal maupun kombinasi pada 7 HST (Tabel 5). pH tanah dari penggunaan secara kombinasi lebih tinggi daripada tunggal pada Alfisol. Hal ini karena biochar memiliki sifat yang lebih alkalin meskipun tidak semua biochar bersifat alkalin. Lehmann *et al.* (2007b) melaporkan bahwa pH biochar dapat berkisar dari 4 - 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis. Pada Alfisol, pH H₂O yang diukur pada 60 HST lebih tinggi daripada 7 HST (Tabel 1). Khususnya aplikasi biochar sekam pada Entisol, pH meningkat di tanah berpasir pada 60 HST. Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan pH kecuali biochar sekam pada 7 HST yang baru meningkatkan pH pada 60 HST (Entisol) (Tabel 5). Pada tanah liat (Alfisol dan Litosol), pH meningkat karena kapasitas tukar kation awal yang tinggi dibanding tanah pasir (dan karenanya kapasitas buffer yang tinggi). pH tanah ditingkatkan dengan biochar dan pupuk organik yang diterapkan secara tunggal maupun kombinasi pada Litosol (60 HST). pH H₂O dan pH KCl tanah Litosol yang diukur pada 60 HST lebih tinggi daripada 7 HST. Perubahan dengan biochar meningkatkan pH tanah dan KTK yang konsisten dengan penelitian sebelumnya (Van Zwieten *et al.*, 2010).



Gambar 6. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 6. Hasil analisis nested design pH pada (60 hari)

Sumber Keragaman	pH
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.083
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.039

Tabel 6. Menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar-biochar-pupuk organik organik pada jenis tanah) dan biochar-Biochar-pupuk organik organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap pH yang diteliti.

Jenis Tanah

Tabel 6. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap pH

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 6. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap pH

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 6. menunjukkan nilai sig (0.083) > $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap pH Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 6. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 6. menunjukkan nilai sig (0.039) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

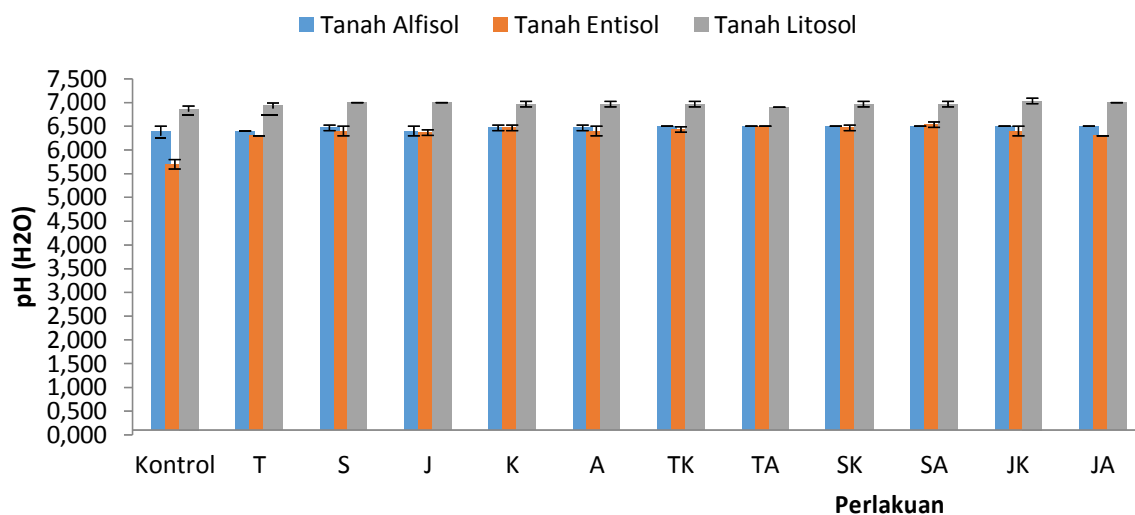
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	6.400	0.100	a	5.700	0.100	a	6.867	0.058	a
T	6.400	0.000	a	6.300	0.000	a	6.933	0.058	a
S	6.467	0.058	a	6.400	0.100	a	7.000	0.000	a
J	6.400	0.100	a	6.367	0.058	a	7.000	0.000	a

K	6.467	0.058	a	6.467	0.058	a	6.967	0.058	a
A	6.467	0.058	a	6.400	0.100	a	6.967	0.058	a
TK	6.500	0.000	a	6.433	0.058	a	6.967	0.058	a
TA	6.500	0.000	a	6.500	0.000	a	6.900	0.000	a
SK	6.500	0.000	a	6.467	0.058	a	6.967	0.058	a
SA	6.500	0.000	a	6.533	0.058	a	6.967	0.058	a
JK	6.500	0.000	a	6.400	0.100	a	7.033	0.058	a
JA	6.500	0.000	a	6.300	0.000	a	7.000	0.000	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar-pupuk organik pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Nilai pH yang diukur pada 7 hari setelah aplikasi menunjukkan hasil yang berbeda ketika diukur pada 60 hari. Nilai pH tanah tidak dipengaruhi oleh perlakuan pada umur 60 hari. Tabel 7 menunjukkan bahwa pada masing- masing perlakuan baik pada aplikasi biochar secara tunggal, pupuk organik dan yang dikombinasikan di ketiga jenis tanah didapati hasil yang tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH tanah (60 hari). Pengaruh perlakuan terhadap kontrol juga tidak berpengaruh nyata terhadap perlakuan di tanah jenis Alfisol, Entisol dan Litosol.



Gambar 7. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 8. Hasil analisis nested design pH (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.022
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 8. menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel pH H₂O 1:1 tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

- Tabel 8. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap pH H₂O. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 8. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol
- Tabel 8. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- Tabel 8. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.022) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- Tabel 8. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 9.

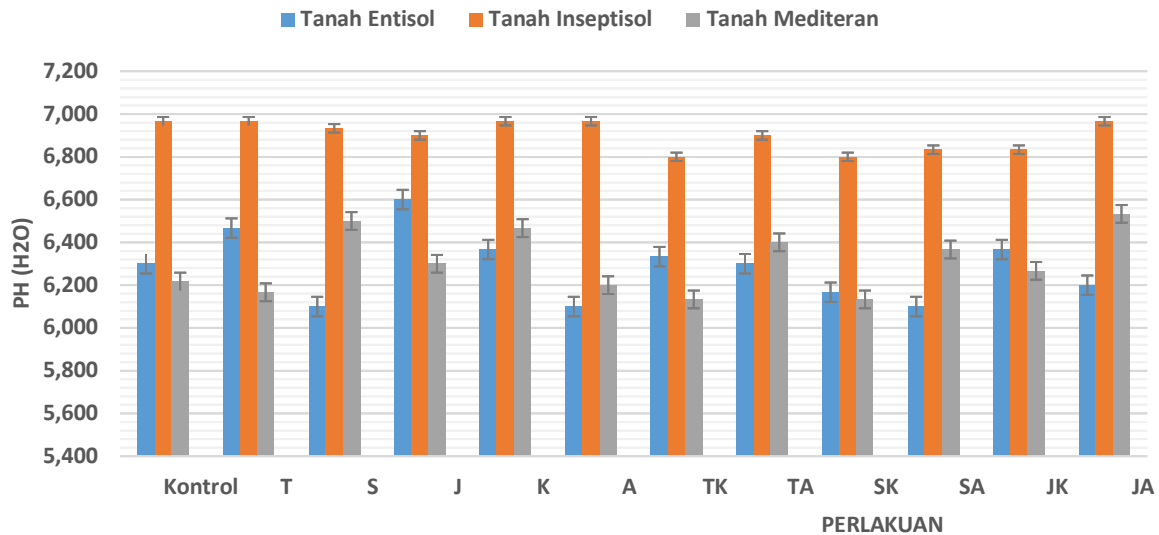
Tabel 9. Hasil uji DMRT pH pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	6,217	0,058	de	6,300	0,000	bcd	6,967	0,058	c
T	6,167	0,058	ab	6,467	0,058	de	6,967	0,058	c
S	6,500	0,000	de	6,100	0,000	a	6,933	0,115	bc
J	6,300	0,200	bc	6,600	0,100	e	6,900	0,000	abc
K	6,467	0,058	de	6,367	0,058	cd	6,967	0,058	c
A	6,200	0,000	ab	6,100	0,000	a	6,967	0,058	c
TK	6,133	0,058	a	6,333	0,058	bcd	6,800	0,100	abc
TA	6,400	0,000	cde	6,300	0,100	bcd	6,900	0,000	abc
SK	6,133	0,058	a	6,167	0,058	ab	6,800	0,000	abc
SA	6,367	0,058	cd	6,100	0,100	a	6,833	0,058	ab
JK	6,267	0,058	abc	6,367	0,252	cd	6,833	0,058	ab
JA	6,533	0,058	e	6,200	0,100	abc	6,967	0,058	c

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Nilai pH menunjukkan perbedaan pada masing-masing pengamatan (7, 60, dan 112 hari). Penggunaan biochar jengkok dan pupuk kandang secara kombinasi menunjukkan nilai pH yang terbaik pada awal dan akhir pengamatan. Nilai pH ketiga jenis tanah bervariasi dengan perlakuan pada saat umur 112 hari. Pada perlakuan biochar jengkok – pupuk kandang kotoran ayam berpengaruh nyata terhadap nilai pH tanah pada jenis tanah Alfisol. Nilai pH tertinggi pada jenis tanah Entisol diperoleh pada perlakuan biochar jengkok tembakau (6,6). Pada tanah Litosol perlakuan kontrol, biochar tongkol jagung, kompos dan pupuk organik kandang memiliki nilai pH tanah yang sama (6,9). Apabila ditinjau dari pengaruh perlakuan terhadap kontrol khususnya pada dua jenis tanah yaitu Alfisol dan Entisol menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan biochar, pupuk organik dan biochar dikombinasikan dengan pupuk organik menghasilkan hasil yang nyata.



Gambar 8. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.2. Bahan Organik Tanah

Hasil analisis bahan organik tanah dengan nested design disajikan pada Tabel 10, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 11.

Tabel 10. Hasil analisis nested design bahan organik tanah pada 7 hari

Sumber Keragaman	Kadar BO
Tanah	0,000
Pupuk dalam tanah	0,000
Pupuk dalam Alfisol	0,000
Pupuk dalam Entisol	0,001
Pupuk dalam Litosol	0,000

Tabel 10. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah.

Jenis Tanah

Tabel 10. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar BO

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 10. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 10. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 10. menunjukkan nilai sig (0.125) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 10. menunjukkan nilai sig (0.001) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil uji DMRT kadar BO pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	1,872	0,028	a	0,486	0,002	a	0,849	0,137	a
T	2,582	0,077	bc	1,182	0,179	bcd	2,450	0,206	b
S	2,491	0,003	ab	0,748	0,081	ab	3,177	0,304	bcd
J	3,864	0,060	b	1,902	0,079	d	3,720	0,244	e
K	2,835	0,822	bc	0,739	0,250	ab	2,640	0,342	bc
A	3,904	0,236	b	0,914	0,079	ab	2,533	0,229	b
TK	3,239	0,435	c	1,074	0,073	bc	2,782	0,734	bc
TA	3,092	0,219	bc	1,270	0,123	bcd	2,717	0,184	bc
SK	4,689	1,417	d	1,095	0,092	bc	2,428	0,028	b
SA	3,216	0,289	c	0,572	0,081	ab	3,549	0,758	de
JK	4,862	0,381	e	1,313	0,009	bcd	3,344	0,790	cde
JA	4,792	0,322	e	1,672	0,006	cd	2,977	0,514	bcd

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Tabel 11 menunjukkan bahwa tanah Alfisol yang diperlakukan secara kombinasi biochar jengkok tembakau-kompos (JK) maupun biochar jengkok-pupuk kandang (JA) menghasilkan kadar bahan organik tertinggi (4.9%) pada 7 hari. Tanah Entisol dan tanah Litosol rata-rata kadar bahan organik tertinggi terdapat pada perlakuan biochar jengkok tembakau (3,7%). Kombinasi biochar jengkok dengan pupuk organik (pukan ataupun kompos) menghasilkan peningkatan bahan organik tanah yang lebih baik dibanding penggunaan secara tunggal pada tanah Alfisol (7 hari). Berbeda pada jenis tanah Entisol dan Litosol yang menghasilkan bahan organik tertinggi dengan aplikasi biochar jengkok secara

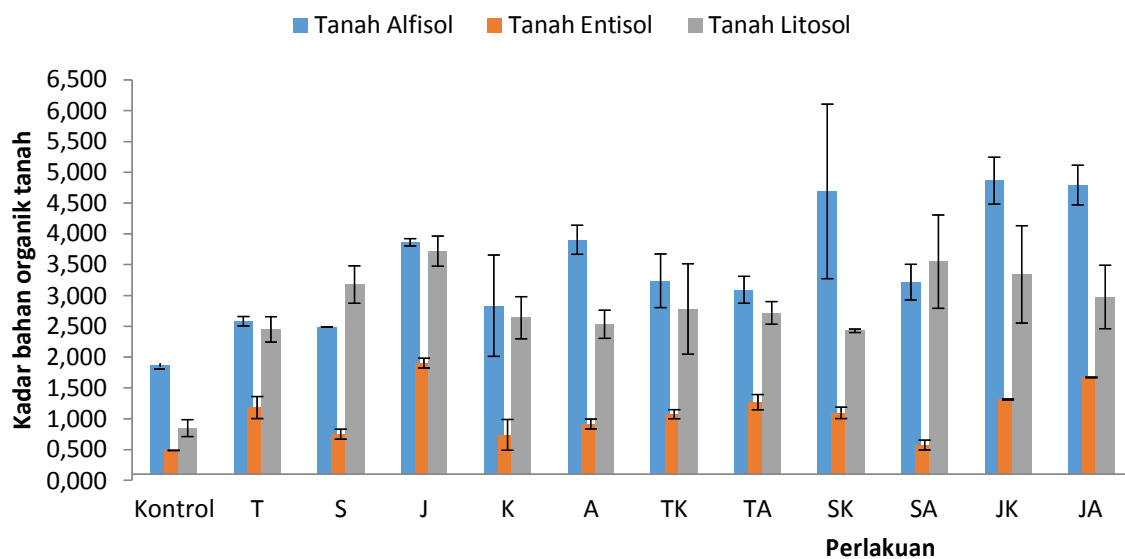
tunggal. Apabila ditinjau dari pengaruh perlakuan terhadap kontrol menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan biochar dan pupuk organik mampu menghasilkan kadar bahan organik yang berbeda nyata dan lebih besar dibandingkan kontrol.

Perubahan karbon organik akan mempengaruhi kesuburan tanah. Penerapan biochar dan pupuk organik meningkatkan bahan organik tanah Alfisol. Bahan organik tanah setelah aplikasi biochar kombinasi pupuk organik lebih tinggi daripada penggunaan tunggal pada 7 HST. Bahan organik tanah dari aplikasi biochar jengkok lebih besar dari biochar tongkol lebih besar dari biochar sekam. Bahan organik tanah dari pupuk kandang lebih besar dari kompos pada 7 HST tetapi sebaliknya pada 60 HST. Bahan organik tanah menurun dari penggunaan pupuk kandang tetapi meningkat dengan kompos selama 8 minggu. Bahan organik tanah tidak menurun dengan penggunaan biochar akan tetapi menurun dengan aplikasi biochar kombinasi pupuk organik yang diamati dalam selang 8 minggu. Penggunaan biochar jengkok kombinasi pupuk kandang (JA), kompos yang dikombinasi biochar sekam (SK) maupun biochar jengkok (JK) menunjukkan bahan organik tanah lebih dari 4,5% (7 HST) tetapi menurun menjadi lebih dari 3,5% (60 HST). Penerapan biochar sekam kombinasi pupuk kandang (SA), biochar tongkol kombinasi kompos (TK) maupun kombinasi dengan pupuk kandang (TA) menunjukkan bahan organik tanah lebih dari 3% (7 HST) tetapi menurun menjadi lebih dari 2,5% (60 HST) (Tabel 11).

Bahan organik tanah dengan masukan biochar dan pupuk organik berkisar 0,74 – 1,9% (7 HST) dan 0,97 – 2,02% (60 HST) pada Entisol. Kenaikan tertinggi dengan menggunakan biochar jengkok pada 7 HST. Selama 8 minggu, belum banyak perubahan kadar bahan organik tanah dari berbagai masukan organik pada Entisol.

Pada 7 HST, bahan organik tanah meningkat dari 0,85% menjadi lebih dari 3% dengan penerapan biochar sekam (S), biochar jengkok (J), biochar sekam kombinasi pupuk kandang (SA), dan biochar jengkok kombinasi kompos (JK) sedang perlakuan lainnya meningkat lebih dari 2,5% pada 7 HST. Namun demikian pada pengamatan selanjutnya (60 HST), bahan organik tanah dari penggunaan biochar jengkok (JK) maupun biochar jengkok kombinasi kompos (JK) masih diatas 3%, sedangkan biochar sekam (S) dan biochar sekam kombinasi pupuk kandang (SA) menurun menjadi 2,5%. Bahan organik tanah yang semula di atas 2,5% (7 HST) meningkat menjadi di atas 3% (60 HST). Khususnya penggunaan biochar jengkok kombinasi pupuk kandang (JA) meningkatkan bahan organik tanah 26% dari 2,98% (7 HST) menjadi 3,75 (60 HST) (Tabel 3). Enders *et al.* (2012) melaporkan bahwa biochar

memiliki konten yang mudah menguap yang rendah dan karbon yang tinggi bila dibandingkan dengan biomassa berbagai bahan baku.



Gambar 9. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 12. Hasil analisis nested design kadar bahan organik pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar BO
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.125
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.001

Tabel 12. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah.

Jenis Tanah

Tabel 12. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar BO

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 12. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 12. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 12. menunjukkan nilai sig (0.125) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar BO Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 12. menunjukkan nilai sig (0.001) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar BO. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil uji DMRT kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

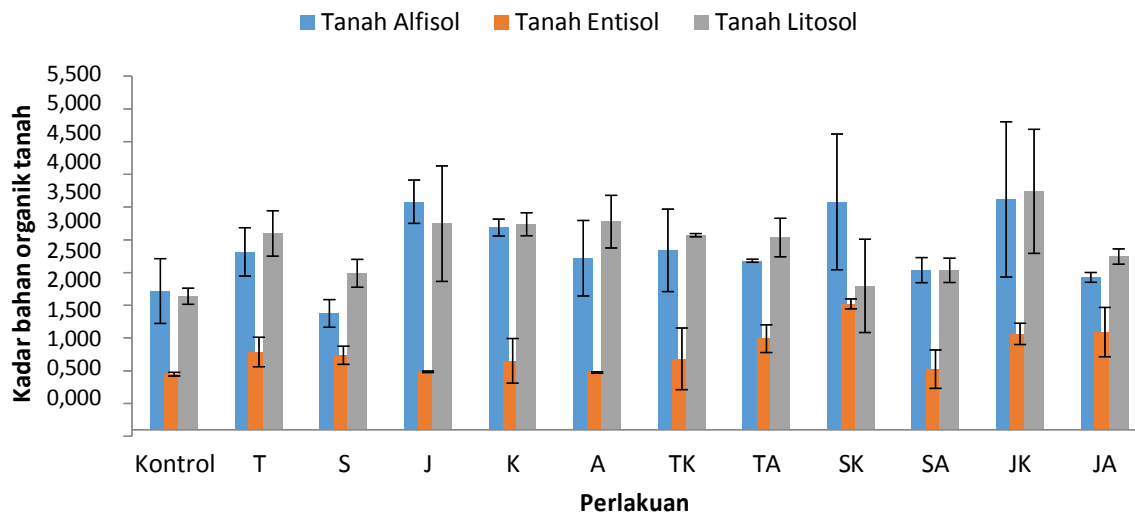
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	2.217	0.495	a	0.947	0.027	a	2.138	0.124	a
T	2.817	0.370	bcd	1.287	0.224	ab	3.097	0.347	bcd
S	1.876	0.212	a	1.237	0.139	ab	2.488	0.212	abc
J	3.583	0.332	d	0.985	0.011	a	3.246	0.882	cd
K	3.189	0.129	cd	1.152	0.342	a	3.240	0.175	cd
A	2.719	0.577	bc	0.974	0.011	a	3.277	0.401	cd
TK	2.840	0.630	bcd	1.183	0.471	a	3.071	0.024	bcd
TA	2.679	0.024	bc	1.491	0.212	ab	3.035	0.294	bcd
SK	3.581	1.036	d	2.023	0.076	b	2.296	0.712	ab
SA	2.538	0.192	abc	1.025	0.294	a	2.534	0.186	abc
JK	3.618	1.186	d	1.563	0.162	ab	3.740	0.948	d
JA	3.526	0.076	d	1.591	0.376	ab	2.745	0.117	abc

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Tabel 13 menunjukkan bahwa bahan organik yang bervariasi pada umur 60 hari pada berbagai jenis tanah. Tanah Alfisol, bahan organik tanah tertinggi masih sama seperti pada pengamatan 7 HST. Namun demikian perlakuan SK dan J juga menghasilkan bahan organik tanah yang tidak berbeda dengan perlakuan JK dan JA (3,6%). Pada tanah Entisol yaitu pada perlakuan biochar sekam padi – kompos secara kombinasi, sedangkan pada tanah Litosol perlakuan terbaik pada biochar jengkok tembakau-kompos secara kombinasi. Apabila ditinjau dari pengaruh aplikasi biochar dan pupuk organik maka pemberian biochar-pupuk organik

mampu menghasilkan kadar bahan organik yang berbeda nyata dan lebih besar jika dibandingkan dengan kontrol.



Gambar 10. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 14. Hasil analisis nested design kadar bahan organik pada (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.001
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 14. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel bahan organik tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

- Tabel 14. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik . Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 14. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

- c. Tabel 14. menunjukkan nilai sig (0.001) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- d. Tabel 14. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- e. Tabel 14. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 15.

Tabel 15. Hasil uji DMRT bahan organik pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

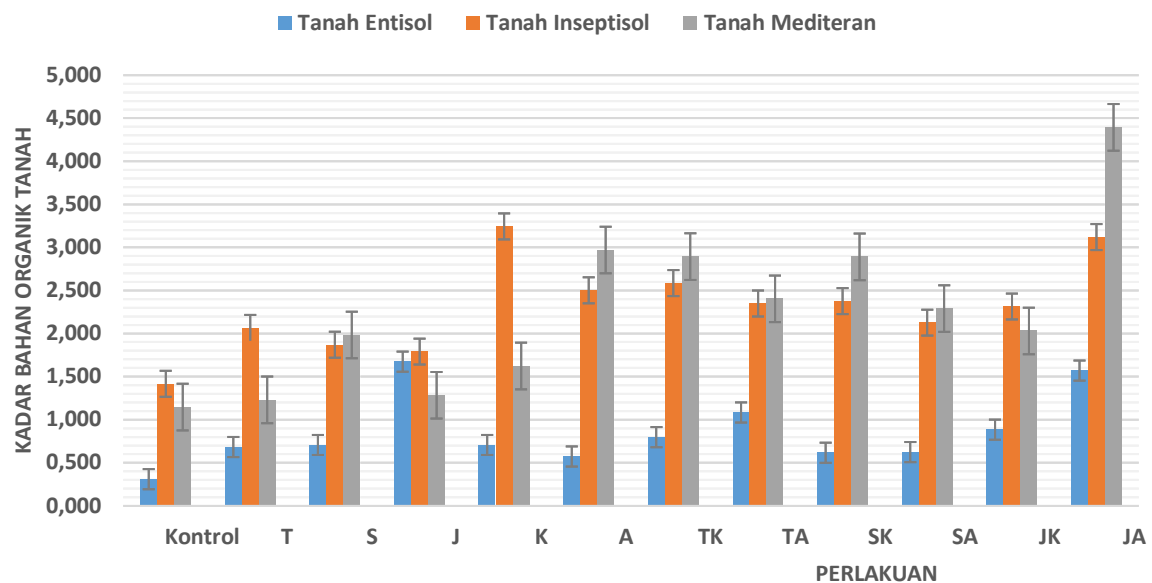
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	1,147	0,087	bc	0,310	0,000	a	1,417	0,051	a
T	1,230	0,040	a	0,683	0,110	ab	2,067	0,275	bc
S	1,983	0,246	bc	0,707	0,081	abc	1,870	0,316	ab
J	1,283	0,396	a	1,673	0,162	c	1,790	0,078	ab
K	1,623	0,509	ab	0,707	0,061	abc	3,243	0,228	e
A	2,970	0,589	e	0,573	0,243	a	2,503	0,446	c
TK	2,893	0,196	de	0,797	0,021	abc	2,587	0,647	cd
TA	2,403	0,093	cd	1,083	0,418	abc	2,350	0,170	bc
SK	2,890	0,315	de	0,617	0,015	ab	2,377	0,292	bc
SA	2,290	0,061	c	0,623	0,015	ab	2,127	0,107	bc
JK	2,030	0,181	bc	0,883	0,320	abc	2,313	0,099	bc
JA	4,193	0,091	f	1,570	1,637	bc	3,120	0,470	de

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Kandungan bahan organik dipengaruhi oleh perlakuan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah umur 112 hari. Pada tanah Alfisol perlakuan terbaik dari biochar jengkok pupuk-kandang secara bersama masih bertahan hingga akhir pengamatan. Tanah Entisol perlakuan terbaik yaitu pada aplikasi biochar jengkok tembakau. Sedangkan, pada tanah Litosol yaitu pada aplikasi kompos. Pengaruh perlakuan terhadap kontrol menunjukkan bahwa beberapa jenis tanah tersebut yang diperlakukan oleh aplikasi biochar dan pupuk organik mampu menghasilkan kandungan bahan organik yang berbeda nyata dan

lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Data Kandungan bahan organik pada masing-masing jenis tanah 112 hari disajikan pada Tabel 15.



Gambar 11. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.3. Jumlah Basa

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 16, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil analisis nested design jumlah basa pada 7 hari

Sumber Keragaman	Jumlah Basa
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 16. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar-pupuk pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Jumlah Basa.

Jenis Tanah

- a. Tabel 16. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Jumlah Basa. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah
- b. Tabel 16. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- c. Tabel 16. menunjukkan nilai sig (0.001) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa. Biochar-pupuk pada jenis tanah Entisol
- d. Tabel 16. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- e. Tabel 16. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 17.

Hasil penelitian menunjukkan jumlah basa setelah diberi biochar lebih rendah daripada biochar kombinasi pupuk organik lebih rendah daripada pupuk organik pada Alfisol (7 dan 60 HST). Demikian pula pada Entisol, aplikasi biochar tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik menunjukkan jumlah basa yang lebih rendah dari pupuk organik pada 7 HST. Hal ini berarti pupuk organik meningkatkan secara langsung kadar unsur hara sedangkan penambahan biochar dan pupuk organik ke tanah dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan atau menahan unsur hara (khususnya kation basa) daripada meningkatkan secara langsung kadar unsur hara pada Alfisol dan Entisol. Hal ini pada gilirannya diharapkan dapat mengurangi jumlah kerugian nutrisi melalui pencucian. Namun berbeda pada Litosol, jumlah basa lebih tinggi setelah diterapkan biochar dibanding pupuk organik maupun penggunaan secara kombinasi pada 7 HST. Hal ini menunjukkan kemampuan biochar berkontribusi langsung terhadap peningkatan kadar hara pada Litosol, khususnya Ca dan Mg (7 HST). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jenis tanah menentukan kemampuan biochar untuk meningkatkan kadar Ca dan Mg (penyedia hara) maupun menyimpan atau menahan kation basa.

Tabel 17. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	19.482	1.334	a	10.363	0.823	a	27.533	5.071	a
T	26.443	2.982	bc	12.286	0.095	a	46.365	8.734	d
S	24.335	3.668	ab	10.676	1.194	a	46.359	6.606	d
J	26.981	4.102	bc	12.243	0.313	a	37.979	4.347	c
K	30.108	5.199	c	13.198	1.243	a	32.838	0.418	abc
A	31.940	6.300	c	13.574	1.311	a	35.439	1.039	bc
TK	30.657	3.672	c	11.955	0.482	a	30.363	2.233	ab
TA	26.300	2.773	bc	11.705	0.247	a	34.580	1.024	bc
SK	26.038	4.269	bc	12.156	1.633	a	33.654	0.044	bc
SA	28.176	0.185	bc	11.888	0.159	a	33.321	2.388	bc
JK	28.563	0.761	bc	12.931	0.163	a	35.010	1.257	bc
JA	31.039	0.430	c	11.744	0.062	a	36.537	2.871	c

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

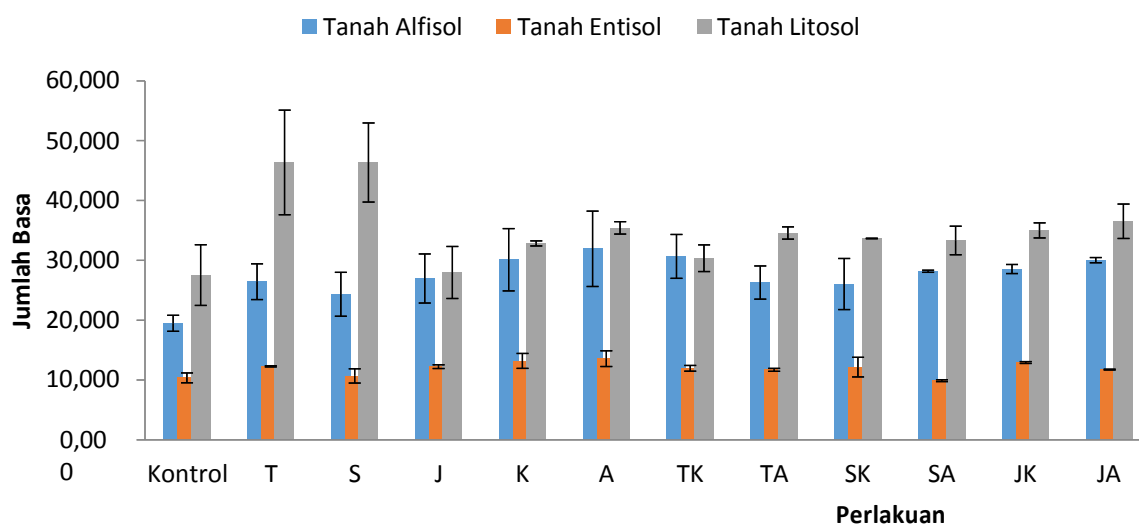
Tabel 17 menunjukkan bahwa perlakuan pupuk organik (pupuk kandang dan kompos), biochar tongkol-kompos serta biochar jengkok-pupuk kandang memiliki hasil yang tidak berbeda yaitu dengan nilai jumlah basa berturut-turut sebesar 31.94; 31.11 dan 30.04 me/100 g. Pada tanah Litosol perlakuan biochar tongkol jagung dan biochar sekam padi menghasilkan jumlah basa yang sama yaitu 46.37 dan 46.36 me/100g. Sedangkan pada tanah Entisol pengaruh perlakuan terhadap kontrol menunjukkan nilai jumlah basa yang tidak berbeda nyata.

Kadar K, Ca, Na, Mg meningkat dengan penggunaan biochar dan pupuk organik pada Alfisol. Hal ini menyebabkan jumlah basa juga meningkat. Setelah biochar terkena oksigen dan air di lingkungan tanah, reaksi oksidasi segera terjadi sehingga mengakibatkan peningkatan muatan negatif bersih dan karenanya peningkatan KTK (Joseph *et al.*, 2009). Dengan demikian berpotensi meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Mayor *et al.*, 2010a). Peningkatan kation basa berkaitan dengan KTK tanah yang meningkat setelah aplikasi biochar maupun pupuk organik. Kadar K, Na, dan Mg relatif sama setelah penerapan jenis biochar dan pupuk organik pada 7 maupun 60 HST akan tetapi menurun pada 60 HST. Tidak demikian dengan kadar Ca yang meningkat selama 8 minggu, dari 12,89 – 20,96 me/100 g (7 HST) menjadi 18,61 – 25,18 me/100 g (60 HST). Jumlah basa juga relatif sama dari

penerapan biochar maupun pupuk organik, baik kombinasi maupun tunggal pada Alfisol.

Penggunaan biochar dan pupuk organik memberi kontribusi yang kecil terhadap peningkatan kadar K, Na, dan Mg pada Entisol (7 HST). Oleh karena itu peningkatan jumlah basa tidak terlalu besar dibanding kontrol, yaitu 10,36 me/100 g (kontrol) dan 10,68 – 13,57 me/100 g (biochar dan pupuk organik). Kadar K dan Na pada 60 HST lebih tinggi daripada 7 HST tetapi kadar Mg pada 7 HST lebih besar daripada 60 HST pada Entisol.

Kadar K dari pengamatan 56 HST (1,37 – 2,38 me/100g) lebih tinggi dari 7 HST (0,47 – 1,35 me/100g). Kadar Na dari perlakuan biochar tongkol (T), biochar sekam (S), dan biochar jengkok (J) dari pengamatan 60 HST lebih tinggi dari 7 HST. Kadar Mg tanah dari penerapan biochar sekam tertinggi dari perlakuan lainnya pada 7 HST. Jumlah basa dari perlakuan biochar tongkol dan biochar sekam di atas 45 me/100 g sedangkan perlakuan lainnya di atas 30 – di bawah 40 me/100 g pada 7 HST. Namun berbeda pada pengamatan 60 HST, semua perlakuan lebih dari 36 dan kurang dari 40 me/100 g pada Litosol.



Gambar 12. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 18. Hasil analisis nested design jumlah basa pada (60 hari)

Sumber Keragaman	Jumlah Basa
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.709
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 18. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah basa.

Jenis Tanah

Tabel 18. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Jumlah Basa

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 18. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 18. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Jumlah Basa

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 18. menunjukkan nilai sig (0.709) > $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Jumlah Basa

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 18. menunjukkan nilai sig (0.001) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Jumlah Basa. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 19.

Tabel 19 menunjukkan bahwa pada perlakuan aplikasi biochar dan pupuk organik mampu meningkatkan jumlah basa pada tanah Alfisol dan Litosol. Pada tanah Alfisol perlakuan terbaik yaitu pada aplikasi kompos sedangkan pada tanah Litosol perlakuan terbaik pada biochar sekam padi. Sedangkan pada tanah Entisol pengaruh perlakuan terhadap kontrol menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan dengan aplikasi biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa umur 60 hari tidak berbeda nyata dengan nilai jumlah basa.

Tabel 20. Hasil analisis nested design jumlah basa (112 hari)

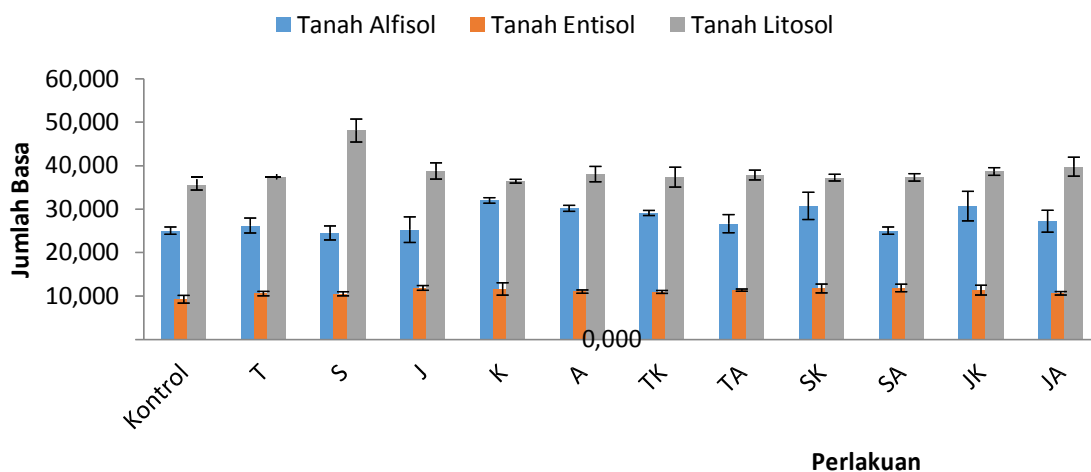
Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.274
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.017
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 19. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	25.053	0.849	a	9.255	0.888	a	35.646	1.236	a
T	26.226	1.724	a	10.586	0.507	a	37.451	0.627	abc
S	24.524	1.618	a	10.544	0.481	a	48.081	2.624	d
J	25.271	2.946	a	11.881	0.544	a	38.786	1.859	bc
K	32.001	0.651	d	11.637	1.428	a	36.417	0.437	ab
A	30.181	0.695	cd	11.037	0.386	a	38.050	1.765	abc
TK	29.112	0.579	bc	10.949	0.346	a	37.365	2.293	abc
TA	26.657	2.079	ab	11.369	0.273	a	37.839	1.117	abc
SK	30.741	3.132	cd	11.762	1.010	a	37.242	0.763	abc
SA	25.057	0.853	a	11.878	0.853	a	37.304	0.856	abc
JK	30.698	3.383	cd	11.381	1.118	a	38.655	0.889	bc
JA	27.207	2.518	a	10.649	0.388	a	39.771	2.182	c

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 13. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 20. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel jumlah basa tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 20. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap jumlah basa .

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 20. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah basa tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 20. menunjukkan nilai sig (0.274) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap aaa tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 20. menunjukkan nilai sig (0.017) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah basa tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 20. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah basa tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 21.

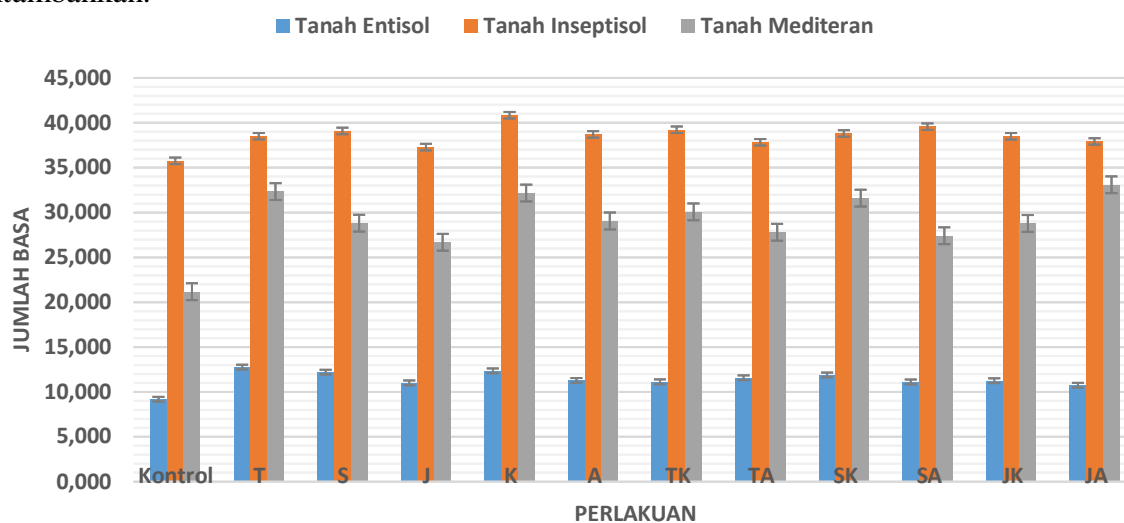
Tabel 21. Hasil uji DMRT jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	21,180	0,949	bcde	9,197	0,720	a	35,757	0,509	a
T	32,340	0,221	de	12,777	2,399	c	38,507	0,957	bc
S	28,817	1,715	abcd	12,213	0,611	bc	39,090	1,536	bcd
J	26,690	0,605	a	11,020	0,674	b	37,290	0,409	ab
K	32,177	0,181	de	12,350	0,416	bc	40,850	1,407	d
A	29,057	1,078	abcd	11,293	0,337	bc	38,707	1,893	bc
TK	30,073	1,809	abcde	11,133	0,657	bc	39,227	0,777	bcd
TA	27,800	3,076	abc	11,577	0,453	bc	37,827	0,661	bc
SK	31,607	4,464	cde	11,900	0,161	bc	38,817	0,471	bcd
SA	27,417	1,237	ab	11,127	0,399	bc	39,567	1,598	cd
JK	28,787	2,920	abcd	11,260	0,315	bc	38,503	1,345	bc
JA	33,093	1,300	e	10,747	0,724	b	37,927	0,257	bc

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Jumlah basa pada Tabel 18 menunjukkan nilai yang variatif terhadap ketiga jenis tanah. Pada tanah Alfisol, perlakuan biochar jengkok- pupuk kandang kotoran ayam mampu menghasilkan jumlah basa yang berbeda nyata dan lebih besar dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Pada tanah Entisol, perlakuan biochar tongkol jagung menunjukkan jumlah basa tertinggi. Sedangkan, pada tanah Litosol perlakuan kompos memiliki nilai jumlah basa tertinggi diantara perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah basa tertinggi pada masing-masing jenis tanah berbeda dan tergantung masukan organik yang ditambahkan.



Gambar 14. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap jumlah basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.4. Kejenuhan Basa (KB)

Kejenuhan basa yang diamati pada 112 hari pada tanah Litosol tidak dipengaruhi oleh perlakuan biochar dan pupuk organik yang diaplikasikan secara tunggal maupun kombinasi. Pengaruh perlakuan terhadap kejenuhan basa (KB) menunjukkan bahwa tanah jenis Alfisol dan Entisol yang diperlakukan biochar maupun pupuk organik telah menghasilkan nilai kejenuhan basa yang berbeda nyata dan lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan kompos menghasilkan KB tertinggi pada Alfisol pada pengamatan 112 hari. Data nilai kejenuhan basa disajikan pada Tabel 23.

Tabel 22. Hasil analisis nested design Kejenuhan Basa (KB) (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.981
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 22. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel KB tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

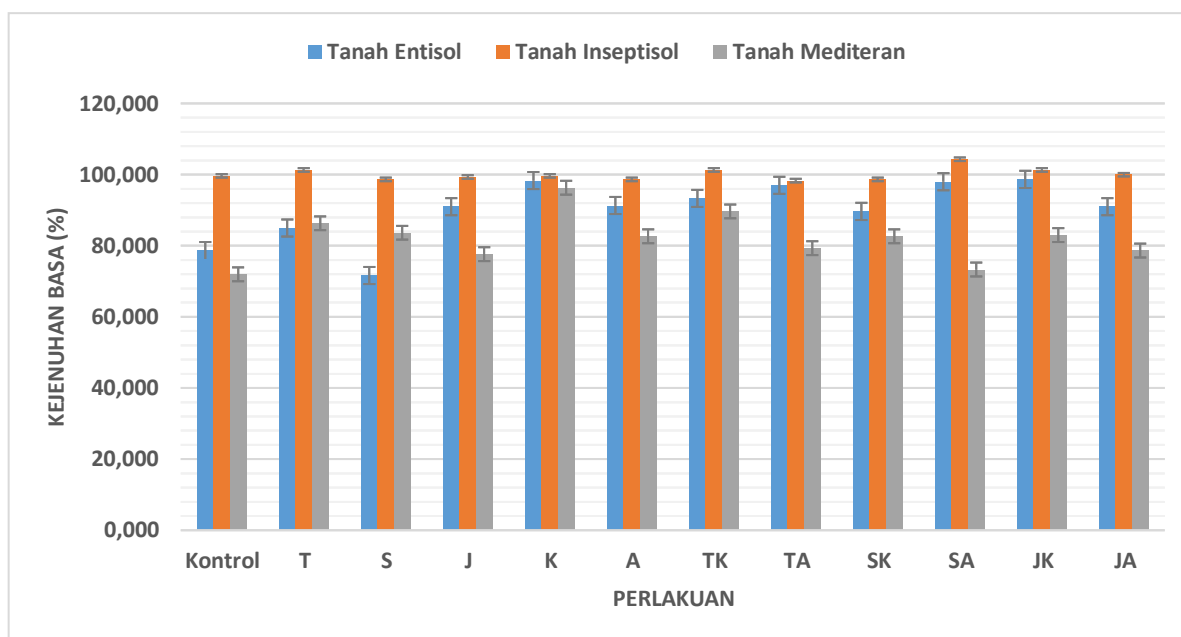
- Tabel 22. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap KB . Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 22. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap KB tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol
- Tabel 22. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KB tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- Tabel 22. menunjukkan nilai sig (0.981) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap KB tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- Tabel 22. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KB tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 23.

Tabel 23. Hasil uji DMRT KB pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	72,000	4,583	a	78,667	7,767	a	99,667	0,577	a
T	86,333	0,577	bc	85,000	1,528	b	101,333	2,309	a
S	83,667	7,506	ab	71,667	4,726	a	98,667	0,577	a
J	77,667	3,215	ab	91,000	8,718	bc	99,333	1,155	a
K	96,333	2,309	c	98,333	1,528	c	99,667	1,155	a
A	82,667	8,622	ab	91,333	5,686	bc	98,667	3,215	a
TK	89,667	8,505	bc	93,333	3,215	bc	101,333	4,041	a
TA	79,333	6,658	ab	97,000	3,606	bc	98,333	1,155	a
SK	82,667	13,051	ab	89,667	9,018	bc	98,667	1,155	a
SA	73,333	3,055	a	98,000	1,732	c	104,333	8,386	a
JK	83,000	8,544	ab	98,667	1,528	c	101,333	3,215	a
JA	78,667	6,028	ab	91,000	5,568	bc	100,000	1,732	a

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 15. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kejenuhan basa pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.5. Kapasitas Tukar Kation (KTK)

KTK tanah merupakan faktor utama yang mengatur nutrisi tanah dan karenanya semua faktor yang mempengaruhi KTK akan mempengaruhi nutrisi. KTK tanah Entisol dari penggunaan biochar dan pupuk organik lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 10,25 me/100 g (kontrol) dan 10,88 – 13,01 me/100 g (biochar dan pupuk organik). KTK lebih tinggi dari penggunaan biochar dan pupuk organik karena luas permukaan biochar meningkat sehingga kemampuan adsorpsi kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dan K^+) meningkat. KTK tanah Litosol dari penggunaan biochar dan pupuk organik lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 35,47 me/100 g (kontrol) dan 36,16 – 40,59 me/100 g (biochar dan pupuk organik). KTK tanah Alfisol dari penggunaan biochar dan pupuk organik lebih tinggi daripada kontrol, yaitu 31,58 me/100 g (kontrol) dan 33,32 – 42,09 me/100 g (biochar dan pupuk organik). Hal ini yang menyebabkan hasil jagung meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik, sekalipun terdapat variasi jumlah kation basa maupun jumlah basa pada masing-masing jenis tanah. Menurut Gokila dan Baskar. (2015), aplikasi biochar dengan pupuk anorganik dan biofertiliser meningkatkan kesuburan tanah yang ditanami jagung di Alfisol. Aplikasi gabungan dari biochar dengan 100% rekomendasi dosis pupuk dan biofertiliser meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan status kesuburan tanah. Dalam studi inkubasi jangka pendek, bahkan tanpa aktivitas mikroba jangka panjang, peningkatan KTK terutama disebabkan permukaan yang luas dari biochar dan oksidasi abiotik dari gugus fungsional (Cheng *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2006).

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 23, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 22.

Tabel 24. Hasil analisis nested design KTK (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.002
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 24. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan

berpengaruh secara signifikan terhadap variabel KTK tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

- Tabel 24. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap KTK .Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
 - Tabel 24. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap KTK tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol
 - Tabel 24. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KTK tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
 - Tabel 24. menunjukkan nilai sig (0.002) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KTK tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
 - Tabel 24. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KTK tanah.
- Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 25.

Tabel 25. Hasil uji DMRT KTK pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	31,383	0,521	a	11,860	0,453	a	35,797	0,529	a
T	37,477	0,159	cd	14,912	2,861	b	38,020	1,153	ab
S	34,553	0,979	b	17,117	1,203	c	39,683	1,548	bc
J	34,360	0,855	b	12,127	0,701	ab	37,423	0,298	ab
K	33,423	0,849	ab	12,553	0,268	b	40,953	2,000	c
A	35,420	2,392	bc	12,383	0,501	ab	39,163	2,036	bc
TK	33,527	1,270	ab	11,917	0,270	ab	38,847	2,170	bc
TA	34,977	0,868	bc	11,903	0,211	ab	38,513	0,688	bc
SK	38,363	0,758	c	13,363	1,184	b	39,343	0,132	bc
SA	37,387	3,174	cd	11,390	0,501	ab	37,997	1,937	ab
JK	34,657	0,140	b	11,400	0,492	ab	37,887	0,475	ab
JA	42,190	1,667	d	11,837	0,240	ab	37,823	0,889	ab

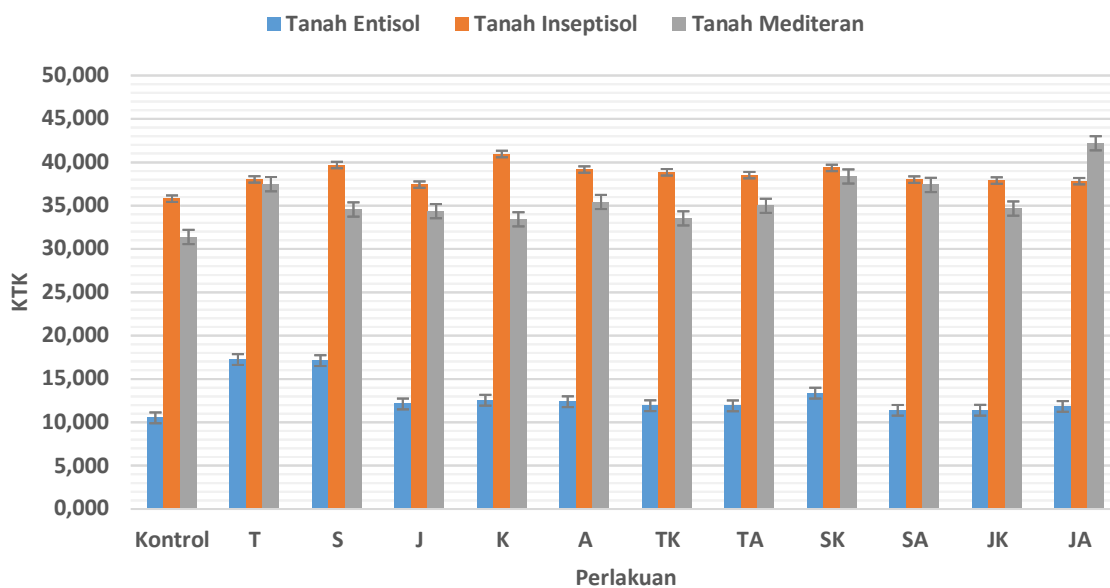
* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Aplikasi biochar jengkok-pupuk kandang pada tanah Alfisol menunjukkan kapasitas tukar kation tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Untuk jenis tanah Entisol

biochar sekam padi memiliki nilai KTK yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Sedangkan, pada tanah Litosol perlakuan kompos menunjukkan KTK tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya (Tabel. 25).

Pada akhir pengamatan, aplikasi biochar jengkok-pupuk kandang secara bersama lebih baik daripada penggunaan secara tunggal pada Alfisol, seperti pH tanah, bahan organik tanah, jumlah basa, kapasitas tukar kation, dan kadar N total.



Gambar 16. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.6. Kadar N

Nitrogen merupakan suatu hara esensial dan berperan untuk pertumbuhan vegetatif tanaman, khususnya jagung. Pada tanah-tanah pertanian yang bukan ditanami legum maka Nitrogen menjadi hara pembatas utama. Demikian yang terjadi pada tanah yang digunakan pada penelitian ini. Kadar N dari ketiga jenis tanah termasuk rendah, yaitu 0,07% (Entisol); 0,1 (Alfisol); dan 0,17 (Litosol). Regosol termasuk ordo Entisol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Litosol termasuk dalam ordo Entisol, sama dengan tanah Regosol. Reaksi kimia dalam tanah berlangsung sangat lambat dan cenderung miskin hara. Litosol merupakan tanah muda yang berasal dari pelapukan batuan serta miskin unsur hara sehingga bukan tanah yang subur. Tanah yang termasuk ordo Alfisol merupakan hasil pelapukan batuan kapur dan batuan sedimen. Disebut juga dengan tanah kapur karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur

yang memiliki unsur hara dalam jumlah yang sedikit sehingga tanah jenis ini tidak subur dan sangat mudah dilalui air.

Pemberian biochar dan pupuk organik secara bersama maupun tunggal merupakan upaya pasokan N ke dalam tanah karena tanaman jagung adalah konsumen N utama dan mengasimilasi sejumlah 30-70% dari pupuk yang diberikan. Mengingat tanaman jagung menghasilkan banyak bahan kering yang umumnya membutuhkan lebih banyak N. Produksi bahan kering tanaman jagung merupakan aspek penting untuk menentukan kebutuhan N bagi tanaman.

Pasokan N yang rendah dari tanah yang digunakan pada penelitian ini telah meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik. Hal ini terlihat dari hasil inkubasi tanah dan bahan organik yang ditambahkan setelah 7 hari (Tabel 27). Hasil uji N total tanah setelah 7 hari inkubasi menunjukkan taksiran mineralisasi dengan menentukan besarnya cadangan N organik. Penambahan bahan organik segar (kompos dan pupuk organik) menyediakan proporsi N cepat tersedia yang lebih besar daripada senyawa-senyawa N tanah yang lebih stabil. Kadar N total tanah meningkat lebih banyak ketika biochar dicampur pupuk organik daripada diberikan sendiri-sendiri. Kadar N total meningkat setelah inkubasi 7 hari pada tanah Alfisol, yaitu dari 1,78% (T) menjadi 0,21% (TK) dan 0,24% (TA); dari 0,17% (S) menjadi 0,28% (SK) dan 0,22% (SA); dari 0,19% (J) menjadi 0,33% (JK) dan 0,32% (JA). Namun demikian berbeda pada tanah Litosol yang menunjukkan kadar N total yang tidak berbeda pada semua perlakuan yang ditambahkan, meskipun ada peningkatan kadar N total dari 0,11% (kontrol) menjadi 0,15-0,19% (biochar dan pupuk organik). Pemberian perlakuan pada tanah Entisol menghasilkan kadar N total yang relatif sama dengan kontrol (0,03%) kecuali perlakuan biochar jengkok (0,08%) setelah inkubasi 7 hari. Hasil kadar N total setelah inkubasi 7 hari di ketiga jenis tanah menunjukkan bahwa setiap jenis tanah memberikan tanggapan awal yang berbeda terhadap masukan organik. Hal ini penting sebagai informasi awal terhadap ketersediaan N total yang diperlukan untuk mengawali pertumbuhan tanaman.

Tanggapan tanah dengan pemberian biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada 60 dan 112 hari setelah tanam menunjukkan hasil yang berbeda dengan awal tanam. Pada saat 60 HST, kadar N total tanah cenderung tidak ada perubahan antara yang diberi dan tidak diberi masukan organik pada ketiga jenis tanah, kecuali pada tanah Entisol. Pemberian pupuk kandang meningkatkan kadar N total pada Entisol dari 0,07-0,11% (semua perlakuan) menjadi 0,40% (A). Pengamatan saat panen menunjukkan bahwa kadar N total

pada ketiga jenis tanah kembali meningkat dengan masukan organik. Ketiga jenis tanah memberi respon yang berbeda terhadap masukan organik. Kadar N total tanah Alfisol dan Litosol tertinggi dari aplikasi kompos (K) yang tidak berbeda dengan perlakuan biochar-pupuk (JA). Berbeda dengan tanah Entisol yang memiliki kadar N total tertinggi dari pemberian biochar jengkok (J). Setiap jenis tanah mempunyai tanggapan yang berbeda terhadap kadar N total setelah diberi biochar-pupuk organik.

Tanggapan tanaman terhadap dinamika kadar N total tanah ditunjukkan dari variabel tinggi tanaman, biomasa kering tanaman, dan hasil jagung. Tinggi tanaman jagung pada 60 HST lebih tinggi dengan menggunakan biochar-pupuk organik secara bersama-sama daripada penggunaan secara mandiri. Pemanfaatan biochar dan pupuk organik pada ketiga jenis tanah juga meningkatkan biomasa kering tanaman dan hasil jagung dibanding kontrol.

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 26, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 27.

Tabel 26. Hasil analisis nested design kadar N pada 7 hari

Sumber Keragaman	kadar N
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.098
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.013

Tabel 26. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel kadar N tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

- Tabel 26. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar N tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 26. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- Tabel 26. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah

Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

- d. Tabel 26. menunjukkan nilai sig (0.098) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar N Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- e. Tabel 26. menunjukkan nilai sig (0.013) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, Biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 27.

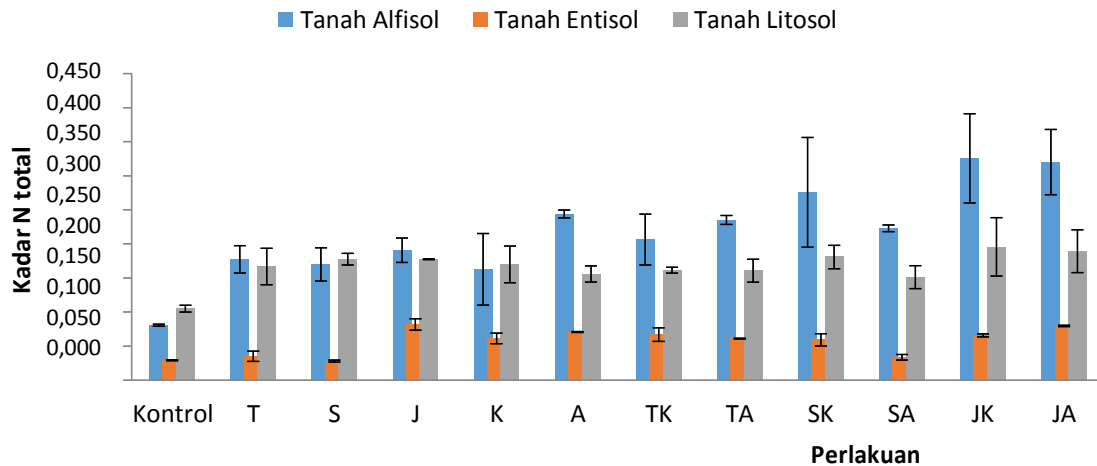
Tabel 27. Hasil uji DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	0.081	± 0.001	a	0.029	± 0.001	a	0.105	± 0.005	a
T	0.177	± 0.020	d	0.035	± 0.008	a	0.167	± 0.027	b
S	0.170	± 0.024	c	0.028	± 0.001	a	0.177	± 0.009	b
J	0.191	± 0.018	e	0.082	± 0.008	b	0.177	± 0.001	b
K	0.163	± 0.053	b	0.061	± 0.008	ab	0.170	± 0.027	b
A	0.244	± 0.006	ef	0.071	± 0.001	ab	0.156	± 0.012	b
TK	0.206	± 0.037	e	0.067	± 0.010	ab	0.161	± 0.004	b
TA	0.235	± 0.006	ef	0.061	± 0.001	ab	0.161	± 0.017	b
SK	0.276	± 0.081	f	0.059	± 0.009	ab	0.181	± 0.017	b
SA	0.223	± 0.005	e	0.034	± 0.004	a	0.151	± 0.017	b
JK	0.326	± 0.066	g	0.066	± 0.002	ab	0.196	± 0.043	b
JA	0.320	± 0.048	g	0.080	± 0.001	ab	0.189	± 0.031	b

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hasil pengamatan kadar nitrogen pada masing-masing jenis tanah pada 7 hari menunjukkan bahwa aplikasi biochar sekam-kompos (SK) merupakan perlakuan terbaik pada tanah Alfisol. Jenis biochar dan pupuk organik yang ditambahkan pada tanah Alfisol dapat meningkatkan kadar N total pada 7 hari inkubasi. Kadar N total dari aplikasi kombinasi biochar dan pupuk organik secara bersama lebih tinggi daripada aplikasi tunggal masing-masing organik pada Alfisol. Namun pemberian biochar jengkok tembakau pada tanah Entisol menunjukkan kadar N total tertinggi pada 7 hari inkubasi. Sementara itu kadar N total tidak berbeda nyata dari aplikasi biochar maupun pupuk organik pada berbagai jenis pada tanah Litosol. Pada Tabel 27 juga ditunjukkan bahwa pemberian biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan kadar N total pada tanah Litosol pada 7 hari inkubasi.



Gambar 17. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Setiap jenis biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar N total pada Alfisol (60 HST). Kadar N total tertinggi dari penggunaan kompos tunggal (0,27%) maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok (0,28%) pada Alfisol. Kadar N total dari penggunaan biochar sekam terendah (0,17%) pada Alfisol (60 HST). N total tertinggi (0,4%) dari aplikasi pupuk kandang sedang perlakuan lainnya berkisar 0,08 – 0,13% pada Entisol (60 HST). Setiap jenis biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar N total pada Litosol, dari 0,14% menjadi 0,17 – 0,24% (60 HST). Kadar N total tertinggi dari penggunaan kompos tunggal (0,24%) maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok (0,24%). Kadar N total dari penggunaan biochar sekam kombinasi pupuk kandang terendah (0,17%) pada Litosol (60 HST).

Tabel 28. Hasil analisis nested design kadar N pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar N
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.257
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.856
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.005

Tabel 28. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar-pupuk organik pada tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N.

Jenis Tanah

- Tabel 28. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar N. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah
- Tabel 28. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol
- Tabel 28. menunjukkan nilai sig (0.257) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar N Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol
- Tabel 28. menunjukkan nilai sig (0.856) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar N Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol
- Tabel 28. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar N. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 29.

Tabel 29. Hasil uji DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

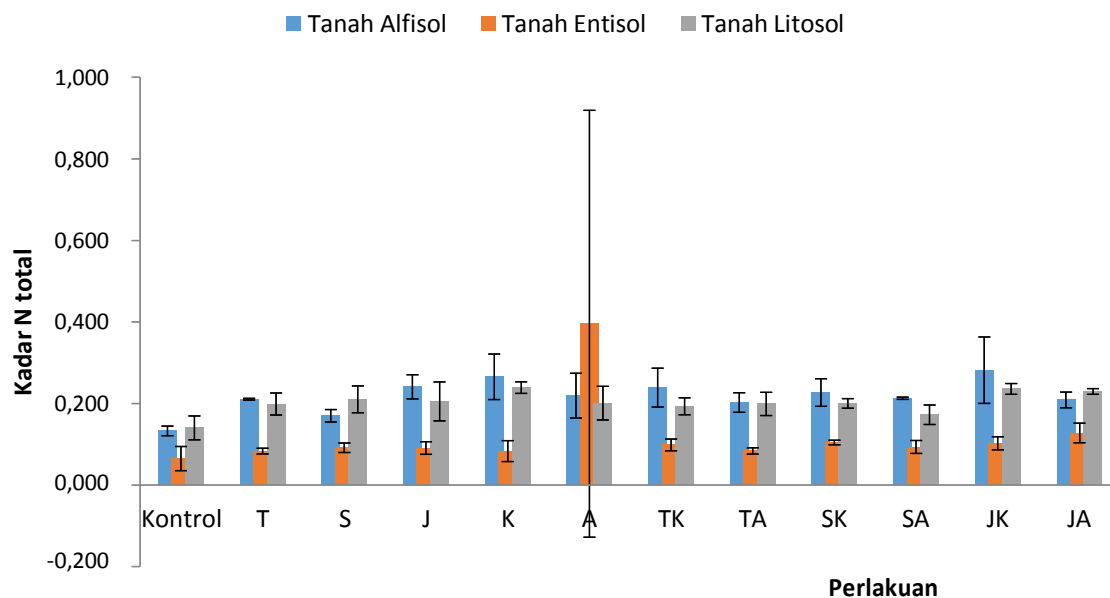
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	0.133	0.012	a	0.065	0.030	a	0.140	0.029	a
T	0.211	0.002	a	0.083	0.007	a	0.199	0.027	a
S	0.170	0.015	a	0.092	0.012	a	0.210	0.033	a
J	0.241	0.030	a	0.091	0.015	a	0.205	0.048	a
K	0.266	0.056	a	0.083	0.026	a	0.239	0.014	a
A	0.219	0.055	a	0.396	0.524	b	0.201	0.041	a
TK	0.239	0.048	a	0.099	0.014	a	0.193	0.021	a
TA	0.202	0.024	a	0.084	0.008	a	0.199	0.029	a
SK	0.227	0.034	a	0.104	0.006	a	0.200	0.012	a
SA	0.213	0.003	a	0.094	0.016	a	0.173	0.024	a
JK	0.282	0.082	a	0.103	0.016	a	0.236	0.013	a
JA	0.209	0.019	a	0.128	0.024	a	0.230	0.007	a

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Pada Tabel 29 menunjukkan bahwa Kadar Nitrogen pada jenis tanah Alfisol dan Litosol (60 hari) tidak dipengaruhi oleh perlakuan biochar tunggal, pupuk organik tunggal dan kombinasi biochar beserta pupuk organik. Sedangkan pada tanah Entisol perlakuan

pupuk organik kandang kotoran ayam berpengaruh nyata terhadap kadar nitrogen (60 hari) dibandingkan dengan perlakuan biochar tongkol jagung, biochar sekam padi, biochar jengkok tembakau, kompos, biochar tongkol-kompos, biochar tongkol- pupuk kandang kotoran ayam, biochar sekam padi- kompos, biochar sekam padi- pupuk kandang kotoran ayam, biochar jengkok tembakau-kompos dan biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam.



Gambar 18. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 30. Hasil analisis nested design kadar N total (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.223
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 30. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel N total tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 30. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap N total .

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 30. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap N total tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 30. menunjukkan nilai sig (0.223) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap N total tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 30. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap N total tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 30. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap N total tanah.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 31.

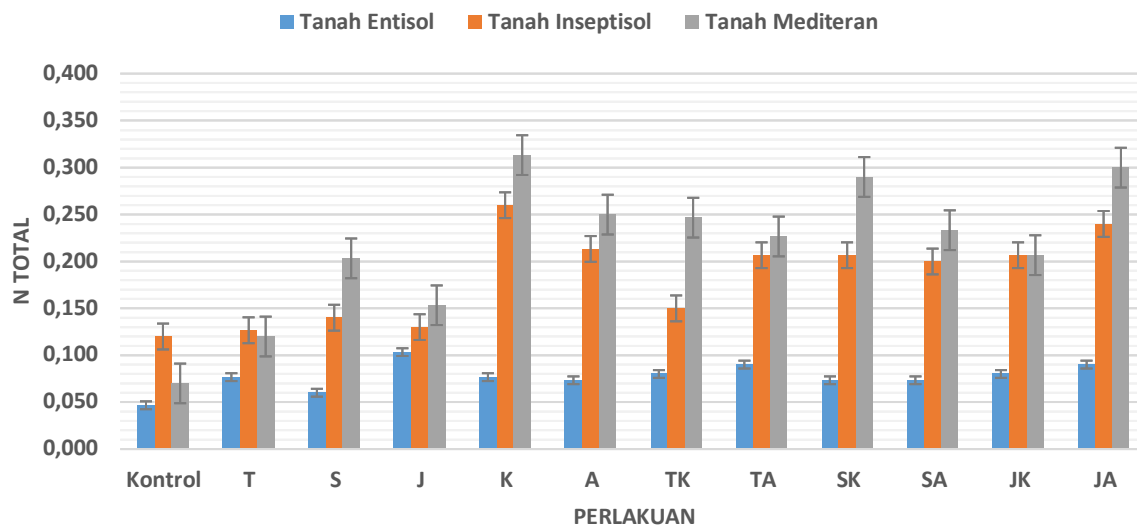
Tabel 31. Hasil uji DMRT N total pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	0,070	0,010	b	0,047	0,006	a	0,120	0,000	a
T	0,120	0,010	a	0,077	0,006	bc	0,127	0,006	ab
S	0,203	0,031	b	0,060	0,000	ab	0,140	0,000	ab
J	0,153	0,006	a	0,103	0,006	d	0,130	0,026	ab
K	0,313	0,035	d	0,077	0,006	bc	0,260	0,010	d
A	0,250	0,056	bc	0,073	0,015	bc	0,213	0,006	c
TK	0,247	0,025	bc	0,080	0,010	bcd	0,150	0,036	b
TA	0,227	0,031	b	0,090	0,010	cd	0,207	0,015	c
SK	0,290	0,036	cd	0,073	0,012	bc	0,207	0,015	c
SA	0,233	0,015	b	0,073	0,015	bc	0,200	0,010	c
JK	0,207	0,025	b	0,080	0,020	bcd	0,207	0,006	c
JA	0,300	0,017	d	0,090	0,026	cd	0,240	0,010	d

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan α =5%

Pada tabel 31 dapat dilihat bahwa kadar N total pada tanah jenis Alfisol dan Litosol menunjukkan hasil yang sama yaitu perlakuan biochar jengkok-pupuk kandang (JA) tidak berbeda dengan aplikasi kompos (K). Pada tanah Entisol biochar jengkok tembakau

memiliki nilai kadar N total tertinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan Biochar tongkol-pupuk kandang kotoran ayam dan biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam.



Gambar 19. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.7. Kadar P

Tanaman menyerap P selama siklus hidup pertumbuhan tanaman. Tanaman menyerap sebagian besar P dari larutan tanah sebagai ion ortofosfat primer (H_2PO_4^-) atau sekunder (HPO_4^{2-}). Ion ortofosfat primer lebih mudah diserap daripada sekunder. Tanaman menyerap 50% dari permintaan total musiman pada waktu tanaman telah mengakumulasi 25% dari bahan kering musiman total. Tanggapan awal musim terhadap pemupukan P yang umum ditunjukkan oleh tanaman dijelaskan oleh pola penyerapan P. Fosfor bersifat mobil dalam tanaman dan bergerak dari jaringan yang lebih tua ke yang muda jika timbul defisiensi. Semakin dewasa tanaman akan banyak dari P yang ditranslokasikan dari bagian vegetatif ke dalam biji dan buah.

Nutrisi P secara umum tidak berpengaruh pada kualitas produk biji kecuali jika P ekstrem kahat. Aerase tanah mempengaruhi keadaan oksidatif senyawa-senyawa anorganik, dekomposisi bahan organik dan pelepasan P dan juga proses metabolik yang kompleks yang berkaitan dengan pertumbuhan tanaman. Aerasi mempunyai pengaruh yang jelas terhadap ketersediaan dan penyerapan P. Pemadatan dan struktur tanah mempengaruhi hubungan P secara tidak langsung melalui pengaruhnya pada aerase. Meningkatnya pemadatan dapat secara fisik menghambat penetrasi akar yang menyebabkan P menjadi tidak tersedia karena posisinya.

Fosfor relatif tidak bergerak dalam sebagian besar tanah dan tidak bergerak dari titik aplikasi. P terlarut jarang bergerak lebih dari 2 atau 3 cm dari suatu granul pupuk sebelum reaksi dengan komponen tanah pada dasarnya menghentikan pergerakan lebih lanjut. Pergerakan P yang terbatas menunjukkan perlunya pada awalnya menempatkan pupuk P pada posisi yang tepat agar keefektifannya maksimum. Semakin dekat pemberian hara ke saat penggunaannya oleh tanaman akan semakin besar efisiensi serapan.

Sebagaimana hasil kadar N total pada tanah Alfisol pada 7 hari setelah inkubasi, demikian pula yang terjadi pada kadar P tersedia pada tanah Alfisol. Pemberian campuran biochar dengan pupuk organik menghasilkan kadar P tersedia yang lebih tinggi daripada pemberian secara mandiri. Aplikasi secara kombinasi lebih menguntungkan daripada secara tunggal untuk kadar P tersedia (7 dan 112 hst) pada tanah Alfisol dan Litosol. Namun khususnya kadar N total tanah hanya pada 7 hst. Besarnya kadar P tersedia dari perlakuan penambahan biochar maupun pupuk organik secara tunggal berkisar pada 43,8 – 50,2 (ketiga jenis biochar), 68 (kompos), dan 125 (pupuk kandang). Akan tetapi kadar P tersedia meningkat dengan penambahan secara kombinasi biochar dan pupuk organik, yaitu 58 – 62

(ketiga jenis biochar+kompos) dan 109 – 130 (ketiga jenis biochar+pupuk kandang) pada tanah Alfisol setelah 7 hari inkubasi. Kadar P tersedia tertinggi pada Entisol dan Litosol dari perlakuan penambahan biochar tongkl jagung+pupuk kandang (TA).

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 31, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 31.

Tabel 32. Hasil analisis nested design kadar P pada 7 hari

Sumber Keragaman	kadar P Bray
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 32. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respons yang diteliti.

Jenis Tanah

Tabel 32. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar P.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 32. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 32. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, Biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 32. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, Biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 32. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, Biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 33.

Tabel 33. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	7.057	0.423	a	10.700	0.790	a	6.975	2.415	a
T	43.762	8.881	b	28.458	8.594	ab	49.294	19.900	cd
S	46.829	12.269	bc	15.925	0.372	a	40.475	12.033	bcd
J	50.234	7.659	bcd	23.748	2.505	ab	48.133	12.484	cd
K	67.950	14.311	d	21.582	1.257	a	49.013	10.019	cd
A	124.911	14.411	ef	93.010	8.604	d	49.210	0.969	cd
TK	62.153	20.503	cd	24.254	4.432	ab	27.483	8.772	b
TA	114.114	13.716	ef	71.618	11.076	c	56.275	15.516	d
SK	57.935	12.580	bcd	27.489	2.316	ab	36.111	6.027	b
SA	130.896	2.026	f	39.667	2.376	b	45.565	2.935	bcd
JK	69.154	14.562	d	34.141	5.099	b	43.597	0.737	bcd
JA	109.430	21.670	e	81.063	1.947	cd	49.943	10.937	cd

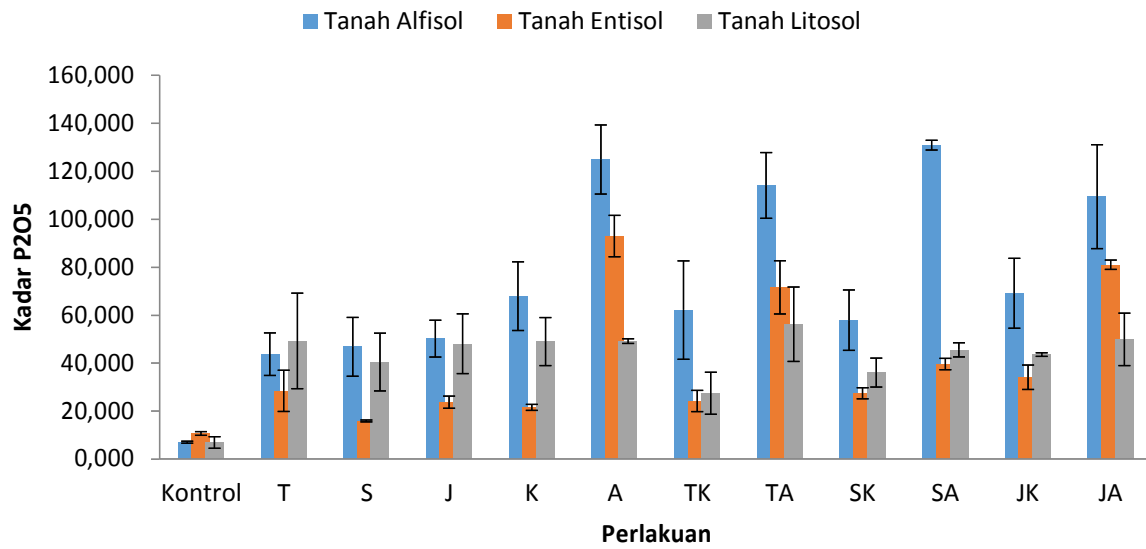
* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Kadar P tertinggi pada masing-masing jenis tanah menunjukkan variasi terhadap aplikasi biochar maupun pupuk organik. Tabel 30 menunjukkan bahwa aplikasi tanpa biochar maupun pupuk organik (kontrol) menunjukkan kadar P terendah pada Alfisol dan Litosol (7 hari). Kadar P tertinggi pada perlakuan JA (Alfisol), TA (Litosol), dan A (Entisol).

Fosfor merupakan nutrisi tanaman penting kedua setelah nitrogen. Kandungan hara dari biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar berasal dari pupuk kandang atau tulang relatif tinggi nutrisi, terutama fosfor. Biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar P tanah Alfisol. Kadar P tanah lebih tinggi dari penggunaan biochar kombinasi pupuk organik daripada penggunaan secara tunggal pada Alfisol. Kadar P tanah Alfisol tinggi dengan penerapan pupuk kandang secara tunggal maupun yang dikombinasi biochar yang digunakan pada penelitian ini. Penggunaan pupuk kandang tunggal maupun yang dikombinasi biochar jengkok menunjukkan kadar P lebih dari 40 mg kg⁻¹ dan pupuk kandang kombinasi biochar tongkol sebesar 35 mg kg⁻¹. Kadar P dari biochar tongkol dan jengkok, memiliki kadar P sebesar 37 mg kg⁻¹ sedangkan biochar sekam 15 mg kg⁻¹. Kompos yang digunakan tunggal maupun yang dikombinasi biochar tongkol maupun biochar jengkok memiliki kadar P rata-rata yang lebih baik (30 dan 36 mg kg⁻¹). Biochar sekam kombinasi pupuk kandang ataupun kompos memiliki kadar P yang lebih rendah. Kadar P tanah lebih baik dengan penerapan biochar tongkol kombinasi pupuk kandang dibanding tunggal, masing-masing 32,6 mg kg⁻¹ (TA); 13,79 mg kg⁻¹ (T); dan 11,89 mg kg⁻¹ (A) pada

Litosol (60 HST) (Tabel 35).



Gambar 20. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 34. Hasil analisis nested design kadar P pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar P
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.001
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 34. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P.

Jenis Tanah

Tabel 34. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar P.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 34. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 34. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.001) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 34. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

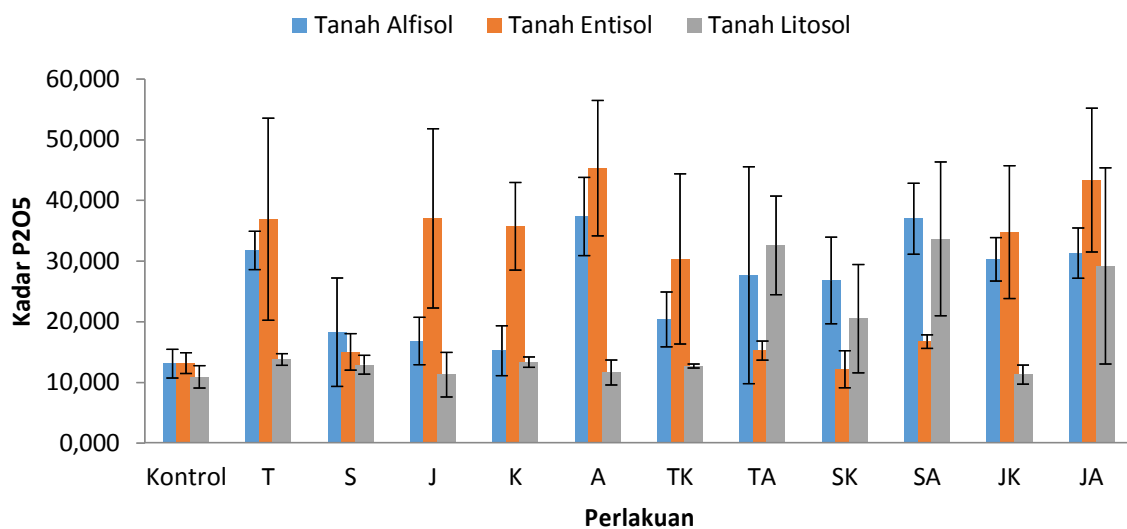
Tabel 34. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, Biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar P. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 35.

Tabel 35. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	13.092	2.367	a	13.199	1.718	a	10.924	1.845	a
T	31.758	3.144	bc	36.911	16.649	b	13.787	0.975	a
S	18.282	8.943	ab	15.041	3.016	a	12.922	1.542	a
J	16.828	3.902	ab	37.052	14.769	b	11.285	3.667	a
K	15.241	4.107	ab	35.737	7.223	b	13.353	0.856	a
A	37.347	6.441	c	45.326	11.156	b	11.650	2.061	a
TK	20.398	4.514	ab	30.360	14.020	b	12.714	0.328	a
TA	27.680	17.873	abc	15.242	1.570	a	32.595	8.123	b
SK	26.812	7.123	abc	12.193	3.053	a	20.512	8.922	ab
SA	36.974	5.853	c	16.727	1.122	a	33.669	12.674	b
JK	30.295	3.592	bc	34.790	10.945	b	11.291	1.573	a
JA	31.325	4.144	bc	43.346	11.849	b	29.210	16.165	b

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 21. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 36. Hasil analisis nested design kadar P (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 36. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel P.Bray1 tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 36. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap P.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 36. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1 tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 36. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1 tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 36. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1 tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 36. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P Bray1.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 37.

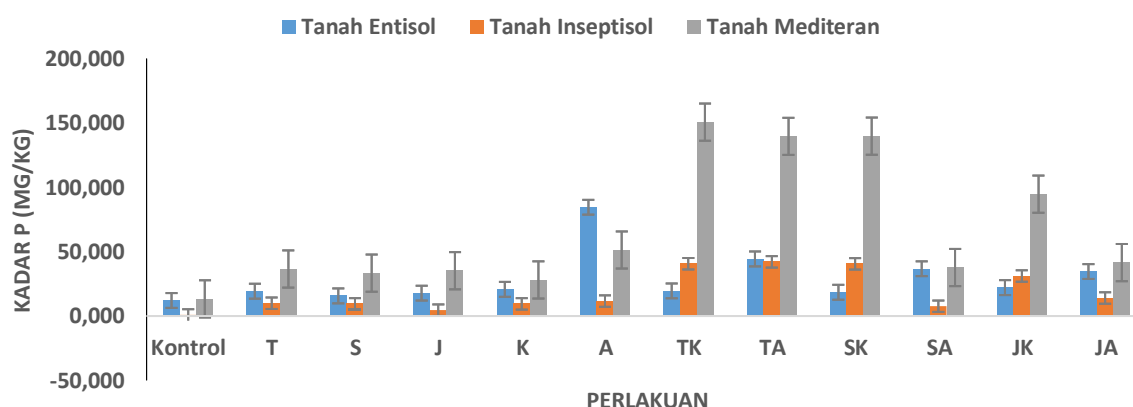
Tabel 37. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	13,367	1,367	a	12,120	0,435	a	0,907	0,067	a
T	36,590	1,646	cd	19,320	1,157	a	9,937	0,360	de
S	33,307	0,749	c	15,680	3,436	a	9,433	0,531	cd
J	35,197	1,663	c	17,797	0,461	a	4,627	0,455	b
K	28,033	1,816	b	20,747	1,074	a	9,453	1,022	cd
A	51,320	1,414	f	84,523	2,328	c	11,617	1,203	e
TK	150,670	5,789	i	19,580	1,100	a	40,680	1,287	h
TA	139,600	1,343	h	44,403	1,398	b	42,127	0,021	h
SK	139,763	1,109	h	18,467	0,770	a	40,523	0,449	h
SA	37,653	0,136	d	36,780	15,919	b	7,647	0,915	c
JK	94,667	0,188	g	22,123	3,001	a	31,067	2,666	g
JA	41,523	3,037	e	34,563	13,319	b	14,043	1,531	f

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada akhir pengamatan, pemberian biochar dan pupuk organik secara kombinasi dan tunggal dapat meningkatkan kadar P pada tanah Alfisol dan Litosol (Tabel 37). Kadar P tertinggi pada tanah Alfisol dari aplikasi biochar tongkol-kompos (TK). Pemberian biochar yang dikombinasi dengan pupuk organik menunjukkan kadar P yang lebih tinggi daripada pemberian secara tunggal pada tanah Alfisol. Hal yang sama juga ditunjukkan bahwa kadar P yang terbaik pada tanah Litosol diperoleh ketika biochar dan pupuk organik digunakan secara bersama pada 112 hari. Tidak demikian yang terjadi pada tanah Entisol yang menunjukkan bahwa penggunaan pupuk kandang menghasilkan kadar P tertinggi.



Gambar 22. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tersedia pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.8. Kadar K

Penggunaan pupuk K pada tanaman memberikan tambahan terhadap pasokan dari tanah. Jumlah yang diperlukan tergantung pada bentuk-bentuk yang ada di dalam tanah, jumlah masing-masing bentuk, laju pasokan ke akar tanaman, reaksi K yang ditambahkan dengan tanah, dan faktor lingkungan dan tanaman yang mempengaruhi pemanfaatan pupuk K.

Kalium harus dapat tersedia menurut posisi pada permukaan akar dan juga dalam bentuk dapat tersedia sebagai K^+ dalam larutan sebelum diserap ke dalam akar melalui mekanisme serapan yang dikendalikan secara metabolik. Dalam sebagian besar tanah, K harus bergerak ke akar sebelum diserap. Mekanisme pemasokan ke akar melalui aliran massa dan difusi. Aliran massa merupakan transportasi K dalam aliran konvektif air ke akar yang dihasilkan oleh penyerapan dan transpirasi air oleh tanaman. Jumlah yang diangkut melalui aliran massa tergantung pada jumlah air yang digunakan oleh tanaman dan kandungan K dalam air yang mengalir melalui tanah ke akar.

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 35, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 36.

Tabel 38. Hasil analisis nested design kadar K pada 7 hari

Sumber Keragaman	Kadar K
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 38 menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel kadar K.

Jenis Tanah

Tabel 38. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar K.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 38. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 38. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 38. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 38. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 39.

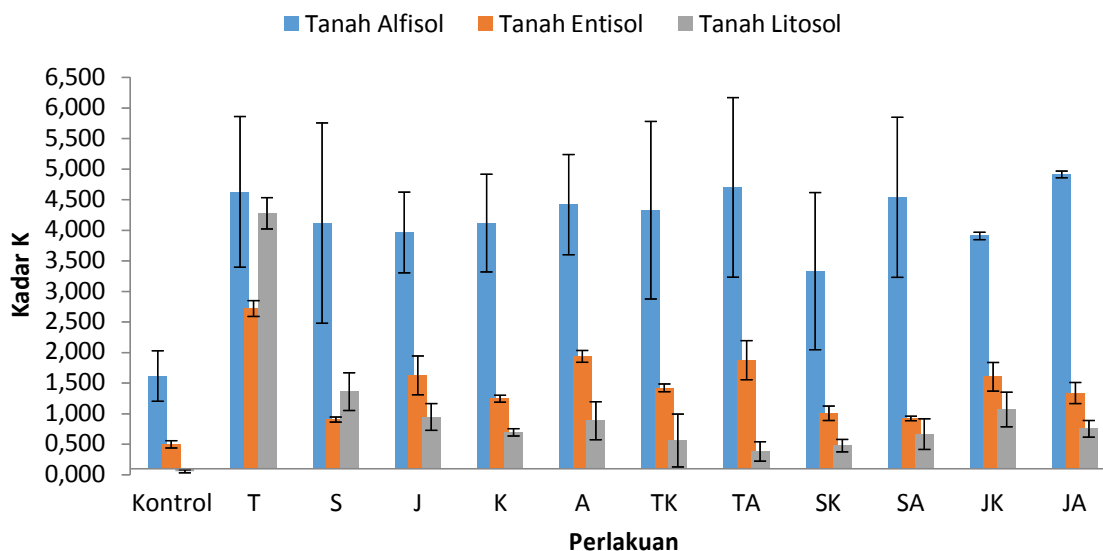
Tabel 39. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	1.616	0.413	a	0.500	0.060	a	0.058	0.025	a
T	4.628	1.232	b	2.719	0.130	c	4.278	0.256	c
S	4.117	1.638	bc	0.904	0.042	ab	1.361	0.308	b
J	3.964	0.660	bc	1.626	0.317	abc	0.946	0.219	ab
K	4.117	0.798	bc	1.244	0.057	ab	0.696	0.061	ab
A	4.419	0.819	bc	1.937	0.097	bc	0.885	0.311	ab
TK	4.328	1.452	bc	1.423	0.063	ab	0.561	0.432	ab
TA	4.701	1.470	bc	1.876	0.320	bc	0.383	0.159	ab
SK	3.332	1.286	c	1.006	0.117	ab	0.478	0.101	ab
SA	4.539	1.308	c	0.923	0.037	ab	0.665	0.251	ab
JK	3.907	0.060	c	1.604	0.234	abc	1.069	0.282	ab
JA	4.914	0.054	c	1.338	0.173	ab	0.752	0.136	ab

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Respon kadar K pada masing-masing jenis tanah (7 hari) menunjukkan adanya perbedaan diantara ketiga jenis tanah. Pada tanah Alfisol, perlakuan biochar sekam padi-kompos, biochar sekam padi-pupuk kandang, biochar jengkok tembakau-kompos dan biochar jengkok-pupuk kandang merupakan perlakuan terbaik dan berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung. Penggunaan biochar tongkol jagung menghasilkan kadar K tertinggi pada tanah Entisol (2,72 ppm) dan tanah Litosol (4.28 ppm).



Gambar 23. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 40. Hasil analisis nested design kadar K pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar K
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.307
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.249

Tabel 40. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respons yang diteliti.

Jenis Tanah

Tabel 40. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar K.

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 40. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 40. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar K

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 40. menunjukkan nilai sig (0.307) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar K

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 40. menunjukkan nilai sig (0.249) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar K. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 41.

Tabel 41. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

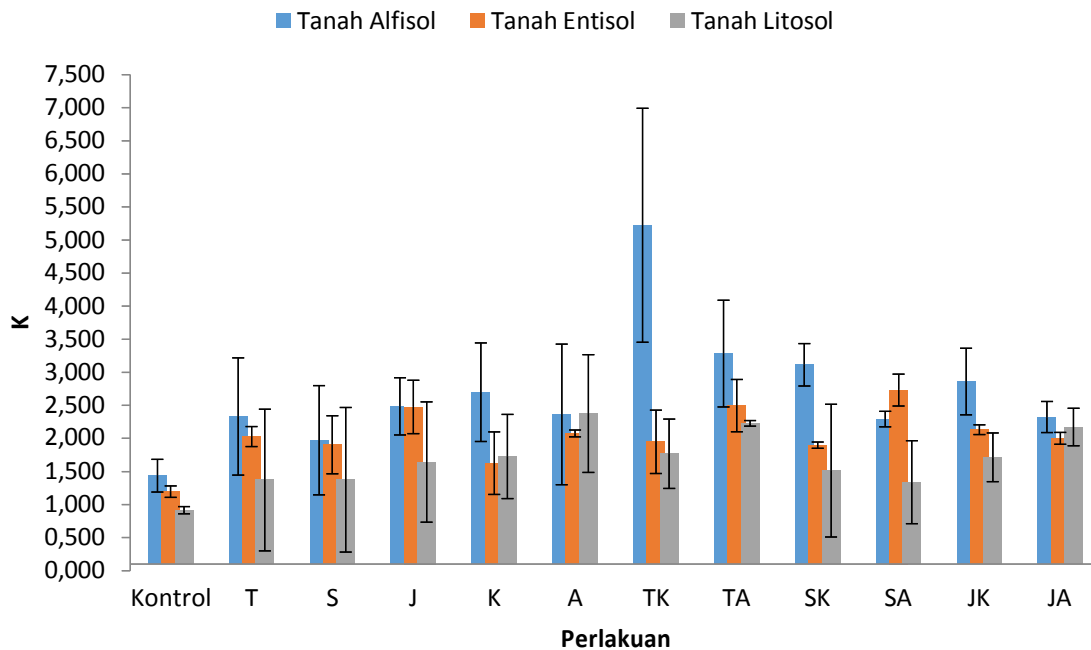
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	1.436	0.247	a	1.196	0.087	a	0.916	0.055	a
T	2.333	0.886	ab	2.029	0.151	ab	1.371	1.071	ab
S	1.974	0.826	ab	1.905	0.438	ab	1.375	1.094	ab
J	2.486	0.432	ab	2.476	0.403	b	1.643	0.909	ab
K	2.699	0.745	b	1.627	0.473	ab	1.727	0.636	ab
A	2.363	1.063	ab	2.075	0.052	ab	2.376	0.891	b
TK	5.223	1.769	c	1.950	0.479	ab	1.768	0.525	ab
TA	3.283	0.807	b	2.496	0.396	b	2.229	0.042	b
SK	3.113	0.320	b	1.899	0.047	ab	1.514	1.003	ab
SA	2.292	0.117	ab	2.731	0.241	b	1.339	0.627	ab
JK	2.860	0.503	b	2.133	0.073	ab	1.715	0.369	ab
JA	2.324	0.235	ab	2.002	0.090	ab	2.173	0.283	b

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Tabel 41 menjelaskan hasil analisa dari kadar K pada masing-masing jenis tanah (60 hari) dimana semakin tinggi nilai kadar K pada tanah maka akan ditunjang dengan perbaikan sifat kimia tanah. Pada tanah Alfisol kadar K tertinggi senilai 5.22 ppm yaitu pada perlakuan biochar tongkol-kompos, hal ini berbeda nyata dengan perlakuan kompos, biochar tongkol-pupuk kandang, biochar sekam padi- kompos dan biochar jengkok tembakau-kompos. Pada tanah Entisol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan biochar jengkok tembakau (2.47 ppm) , biochar tongkol- pupuk kandang (2.56 ppm) dan biochar sekam padi- pupuk kandang (2.73 ppm) perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung, biochar sekam padi, kompos, Pupuk organik kandang kotoran ayam, Biochar tongkol-kompos, Biochar sekam padi- kompos, Biochar jengkok tembakau-kompos dan Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam. Tanah ketiga yaitu Litosol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan

Pupuk organik kandang kotoran ayam (2.38 ppm), Biochar tongkol- pupuk kandang kotoran ayam (2.23 ppm) dan Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam (2.18 ppm) ketiga perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Biochar tongkol jagung, Biochar sekam padi, Biochar jengkok tembakau, kompos, Biochar tongkol-kompos, Biochar sekam padi- kompos, Biochar sekam padi- pupuk kandang kotoran ayam dan Biochar jengkok tembakau-kompos.



Gambar 25. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 42. Hasil analisis nested design kadar K (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.020
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.001
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 42. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel K tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 42. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap K.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 42. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap K tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 42. menunjukkan nilai sig (0.020) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap K tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 42. menunjukkan nilai sig (0.001) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap K tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 42. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap K tanah.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 43.

Tabel 43. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

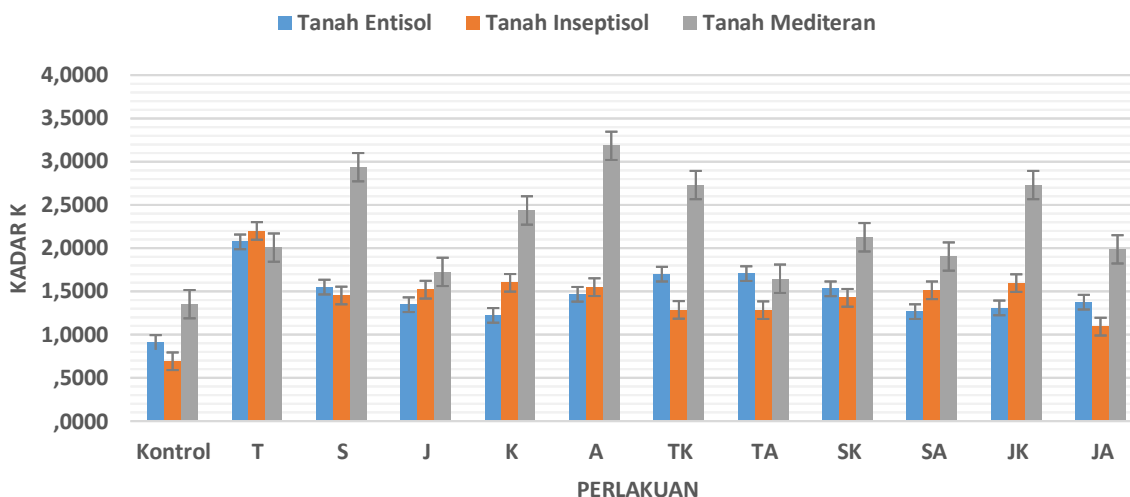
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	1,3533	,31565	a	,9100	,10149	a	,6933	,09713	a
T	2,0067	,16563	ab	2,0733	,45764	c	2,2000	,18330	c
S	2,9367	,27209	cd	1,5500	,36510	abc	1,4533	,47606	b
J	1,7267	,10693	a	1,3467	,23116	ab	1,5200	,45508	b
K	2,4367	,07024	bc	1,2233	,28024	ab	1,6000	,02000	bc
A	3,1833	,22546	d	1,4667	,08737	abc	1,5500	,83289	b
TK	2,7300	,19975	cd	1,7000	,15133	bc	1,2867	,09609	ab
TA	1,6467	,23629	a	1,7067	,27154	bc	1,2833	,03512	ab
SK	2,1267	,17502	ab	1,5300	,50269	abc	1,4267	,12014	b
SA	1,9033	,16503	ab	1,2667	,58287	ab	1,5133	,10017	b
JK	2,7300	,23000	cd	1,3100	,53861	ab	1,5967	,12662	bc
JA	1,9867	,74333	ab	1,3767	,47269	abc	1,0933	,43317	ab

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Pada ketiga tanah yang diperlakukan dengan biochar, pupuk organik dan kombinasi biochar beserta pupuk organik didapati hasil kadar K yang bervariasi. Pada tanah Alfisol

perlakuan Pupuk organik kandang kotoran ayam (3.18 ppm) merupakan perlakuan tertinggi dimana perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan Biochar sekam padi, Biochar tongkol-kompos dan Biochar jengkok tembakau-kompos. Sedangkan pada tanah entisol dan litosol pada perlakuan Biochar tongkol jagung merupakan perlakuan tertinggi diantara perlakuan lain dan kontrol (Tabel 43).



Gambar 26. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar k tersedia pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.9. Kadar Ca

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 41, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 42.

Tabel 44. Hasil analisis nested design kadar Ca pada 7 hari

Sumber Keragaman	Kadar Ca
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.003
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 44. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk pada jenis tanah) dan pupuk pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Ca.

Jenis Tanah

Tabel 44. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Kadar Ca

Biochar dan pupuk pada jenis tanah

Tabel 44. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Ca

Biochar dan pupuk pada jenis tanah Alfisol

Tabel 44. menunjukkan nilai sig (0.003) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Ca. Biochar dan pupuk pada jenis tanah Entisol

Tabel 44. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Ca

Biochar dan pupuk pada jenis tanah Litosol

Tabel 44. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, pupuk berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Ca.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 45.

Tabel 45. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

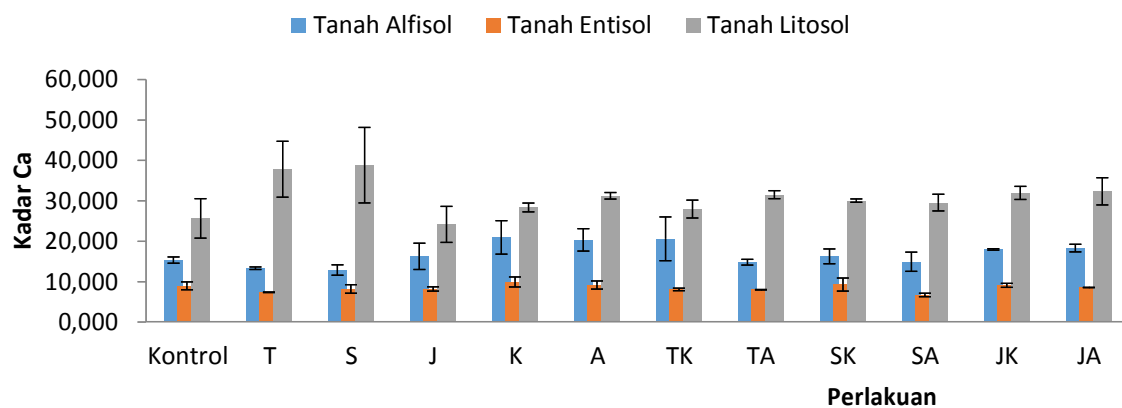
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	15.329	0.773	a	8.964	0.968	a	25.649	4.881	ab
T	13.333	0.308	bc	7.384	0.064	a	37.817	6.923	d
S	12.889	1.290	b	8.195	1.049	a	38.815	9.335	d
J	16.272	3.260	bc	8.204	0.526	b	24.174	4.467	a
K	20.962	4.136	b	9.927	1.233	bc	28.371	1.089	abc
A	20.340	2.784	c	9.161	1.007	e	31.246	0.800	c
TK	20.600	5.408	b	8.086	0.324	cd	27.961	2.207	abc
TA	14.810	0.704	c	8.022	0.046	de	31.534	0.987	c
SK	16.269	1.830	b	9.283	1.617	c	30.056	0.406	bc
SA	14.934	2.376	c	6.713	0.439	de	29.574	2.065	bc
JK	17.986	0.169	b	9.087	0.501	bc	31.964	1.616	c
JA	18.314	0.937	b	8.573	0.031	de	32.354	3.359	c

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Hasil pengamatan kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (7 hari) pada Tabel 45 menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan dengan biochar, pupuk organik dan kombinasi antara biochar dan pupuk organik berbeda nyata dengan kontrol. Perlakuan terbaik pada

Alfisol yaitu pupuk organik kandang kotoran ayam, Biochar tongkol- pupuk kandang kotoran ayam dan Biochar sekam padi- pupuk kandang kotoran ayam ketiga perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan Biochar sekam padi, kompos, Biochar tongkol-kompos, Biochar sekam padi- kompos, Biochar jengkok tembakau-kompos dan Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam.. Tanah entisol perlakuan Pupuk organik kandang kotoran ayam merupakan perlakuan terbaik dan berbeda nyata dengan perlakuan Biochar tongkol-pupuk kandang kotoran ayam dan Biochar sekam padi- pupuk kandang kotoran ayam. Sedangkan, pada tanah Litosol perlakuan Biochar tongkol jagung dan Biochar sekam padi berbeda nyata dengan perlakuan : Pupuk organik kandang kotoran ayam, Biochar tongkol-pupuk kandang kotoran ayam, Biochar jengkok tembakau-kompos dan Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam.



Gambar 27. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 46. Hasil analisis nested design kadar Ca pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar Ca
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.993
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.005

Tabel 46. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Ca.

Jenis Tanah

Tabel 46. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar Ca

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 46. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Ca

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 46. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Ca

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 46. menunjukkan nilai sig (0.993) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Ca

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 46. menunjukkan nilai sig (0.005) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, Biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Ca. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 47.

Tabel 47. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

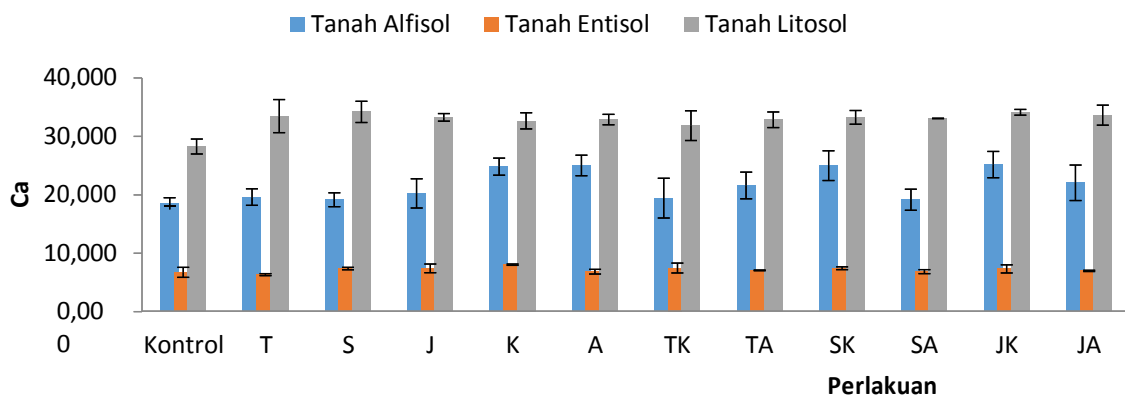
Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	18.500	1.016	a	6.735	0.859	a	28.274	1.269	a
T	19.617	1.418	ab	6.344	0.161	a	33.482	2.831	b
S	19.160	1.194	ab	7.380	0.210	a	34.201	1.817	b
J	20.244	2.502	ab	7.417	0.752	a	33.254	0.649	b
K	24.824	1.454	c	8.046	0.114	a	32.671	1.375	b
A	25.033	1.752	c	6.844	0.404	a	32.883	0.894	b
TK	19.444	3.397	ab	7.476	0.848	a	31.845	2.548	b
TA	21.609	2.276	ab	7.074	0.065	a	32.851	1.332	b
SK	24.997	2.540	c	7.437	0.234	a	33.262	1.170	b
SA	19.161	1.806	ab	6.858	0.347	a	33.081	0.043	b
JK	25.178	2.253	c	7.322	0.695	a	34.133	0.487	b
JA	22.062	3.036	b	6.984	0.104	a	33.641	1.708	b

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Pada Tabel 47, tanah Alfisol dan Litosol yang diperlakukan dengan penambahan biochar, pupuk organik dan kombinasi pupuk organik biochar memiliki hasil yang berbeda nyata dengan kontrol. Sedangkan pada tanah Entisol menunjukkan bahwa perlakuan

penambahan biochar, pupuk organik dan kombinasi biochar beserta pupuk organik tidak menunjukkan hasil yang nyata seperti halnya pada perlakuan kontrol.



Gambar 28. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 48. Hasil analisis nested design kadar Ca (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.410
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 48. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Ca tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 48. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Ca .

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 48. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Ca tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 48. menunjukkan nilai sig (0.410) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Ca tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 48. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Ca tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 48. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Ca tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 49.

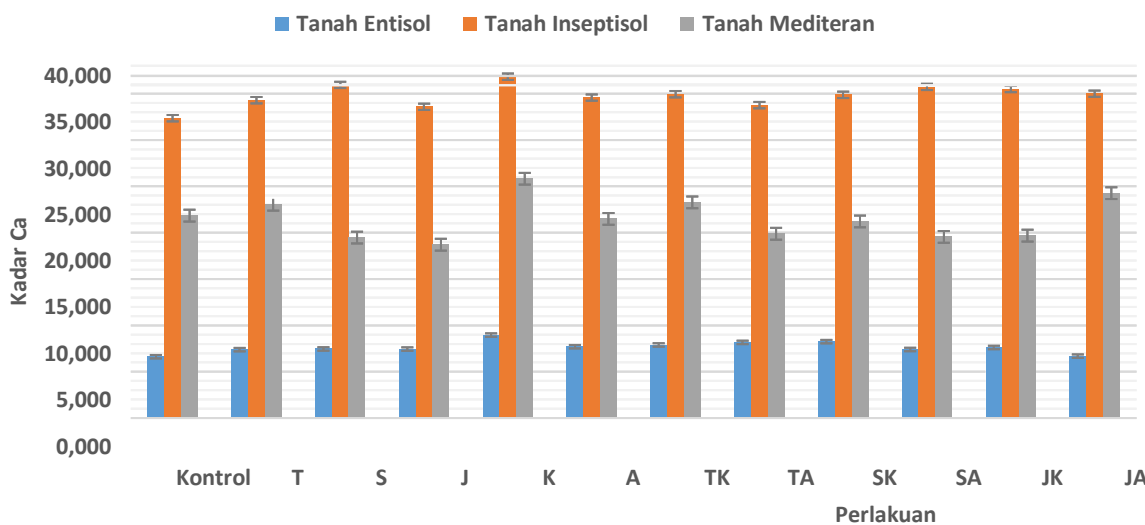
Tabel 49. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	21,840	0,832	bcd	6,617	0,338	a	32,360	0,555	a
T	23,010	0,262	cd	7,380	1,157	ab	34,303	0,760	bcd
S	19,473	1,182	ab	7,457	0,995	ab	35,950	1,283	de
J	18,703	0,682	a	7,437	0,472	ab	33,587	0,118	ab
K	25,820	0,242	e	8,947	0,541	c	36,833	1,528	e
A	21,487	0,378	abc	7,703	0,404	abc	34,580	0,720	bcd
TK	23,277	2,271	cde	7,883	0,707	abc	34,947	0,387	bcd
TA	19,883	1,402	ab	8,160	0,069	bc	33,770	0,547	abc
SK	21,213	3,456	abc	8,240	0,221	bc	34,880	0,356	bcd
SA	19,543	0,490	ab	7,393	0,866	ab	35,733	1,782	de
JK	19,683	2,080	ab	7,610	1,000	ab	35,500	1,185	cde
JA	24,267	0,237	cd	6,680	0,197	a	34,997	0,274	bcd

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Pada Tabel 49 memperlihatkan aplikasi biochar dan pupuk organik menunjukkan adanya perbedaan nyata terhadap nilai kadar Ca di masing-masing jenis tanah. Perlakuan aplikasi pupuk kompos secara tunggal pada ketiga jenis tanah didapati bahwa hasil kadar Ca yang paling tinggi dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan biochar tongkol jagung dan biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam pada tanah Alfisol (112 hari). Pada tanah Entisol perlakuan kompos berbeda nyata dengan biochar tongkol jagung, biochar sekam padi, biochar jengkok tembakau, biochar sekam padi-pupuk kandang kotoran ayam dan biochar jengkok tembakau-kompos. Pada tanah Litosol perlakuan aplikasi kompos berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi.



Gambar 29. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.10. Kadar Mg

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 49, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 49.

Tabel 50. Hasil analisis nested design kadar Mg pada 7 hari

Sumber Keragaman	Kadar Mg
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 50. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan pupuk pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Mg.

Jenis Tanah

Tabel 50. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Kadar Mg

Pupuk pada jenis tanah

Tabel 50. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Mg

Pupuk pada jenis tanah Alfisol

Tabel 50. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Mg. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 50. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Mg. Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 50. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Kadar Mg

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 51.

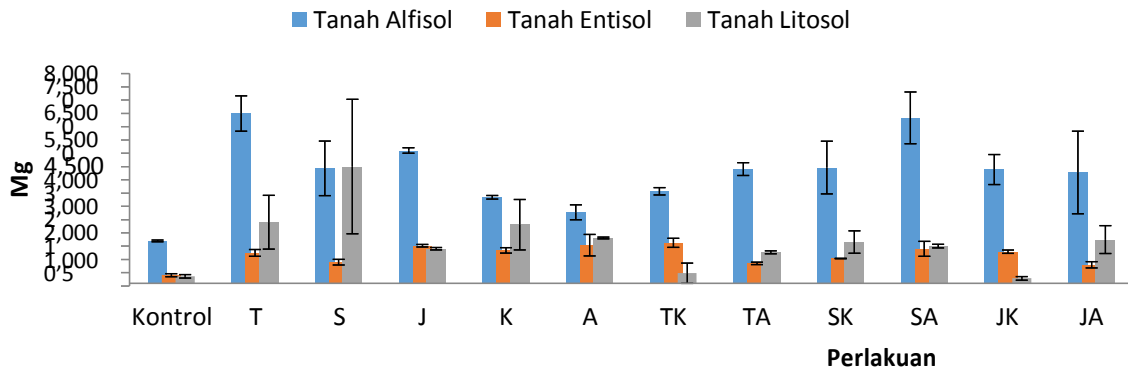
Tabel 51. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	1.700	0.033	a	0.408	0.056	a	0.364	0.066	ab
T	6.495	0.667	e	1.244	0.128	a	2.402	1.013	d
S	4.431	1.028	cd	0.897	0.103	a	4.498	2.532	e
J	5.103	0.102	d	1.517	0.050	b	1.403	0.045	abcd
K	3.341	0.070	bc	1.343	0.103	bc	2.308	0.948	d
A	2.773	0.281	b	1.537	0.405	e	1.809	0.031	d
TK	3.566	0.139	bc	1.625	0.169	cd	0.481	0.381	abc
TA	4.403	0.240	cd	0.853	0.044	de	1.269	0.056	abcd
SK	4.461	0.991	cd	1.037	0.007	c	1.655	0.423	cd
SA	6.331	0.976	e	1.399	0.282	de	1.504	0.068	bcd
JK	4.385	0.567	cd	1.291	0.065	bc	0.286	0.068	a
JA	4.274	1.557	cd	0.801	0.117	de	1.749	0.525	d

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Perlakuan biochar dan pupuk organik baik yang diaplikasikan secara tunggal dan kombinasi menunjukkan kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (7 hari). Tabel 51 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata. Pengaruh aplikasi biochar secara tunggal berpengaruh nyata terhadap kadar Mg pada tanah jenis tanah Alfisol (Biochar tongkol jagung) dan tanah Litosol (biochar sekam padi) pada umur 7 hari. Sedangkan, pada tanah Entisol perlakuan pupuk organik kandang kotoran ayam memiliki hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan Biochar tongkol-kompos. Pada tanah Alfisol perlakuan aplikasi biochar secara tunggal dan aplikasi biochar dengan pupuk organik (kompos) merupakan perlakuan tertinggi dan berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau.



Gambar 30. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 52. Hasil analisis nested design kadar Mg pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar Mg
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.002
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.662
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 52. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Mg.

Jenis Tanah

Tabel 52. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar Mg

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 52. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Mg

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 52. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Mg

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 52. menunjukkan nilai sig (0.662) > $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Mg

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 52. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Mg. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 53.

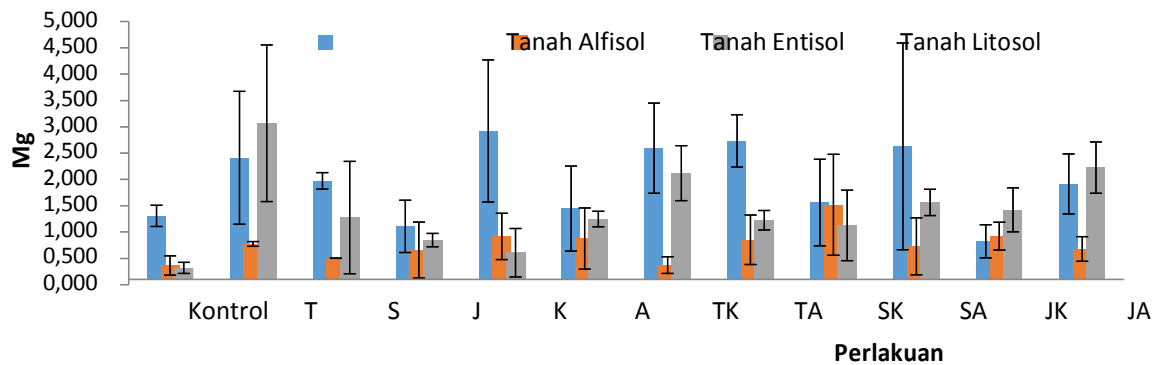
Tabel 53. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	1.307	0.202	ab	0.364	0.184	a	0.318	0.105	a
T	2.411	1.262	bcde	0.773	0.046	ab	3.067	1.487	d
S	1.972	0.158	abcde	0.502	0.002	ab	1.276	1.067	abc
J	1.108	0.498	ab	0.658	0.531	ab	0.847	0.127	ab
K	2.921	1.352	e	0.916	0.440	ab	0.606	0.460	a
A	1.447	0.808	abc	0.875	0.581	ab	1.246	0.147	abc
TK	2.594	0.857	cde	0.371	0.158	a	2.119	0.522	bcd
TA	2.732	0.496	de	0.853	0.470	ab	1.224	0.185	abc
SK	1.560	0.824	abcd	1.517	0.959	b	1.126	0.669	abc
SA	2.629	1.965	cde	0.728	0.541	ab	1.562	0.250	ab
JK	0.823	0.315	a	0.921	0.265	ab	1.422	0.420	ab
JA	1.914	0.569	abcde	0.678	0.234	ab	2.224	0.489	cd

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Hasil analisis uji kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (60 hari) pada ketiga jenis tanah yaitu Alfisol, Entisol dan Litosol memiliki hasil yang berbeda. Pada Tabel 53 menjelaskan bahwa respon dari aplikasi biochar dan pupuk organik baik secara tunggal dan kombinasi pada tanah Alfisol perlakuan pupuk kompos mendapatkan hasil tertinggi senilai 2.92 ppm dimana perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol, biochar jengkok tembakau, pupuk organik kandang kotoran ayam, biochar sekam padi- kompos, dan biochar jengkok tembakau – kompos. Pada tanah Entisol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan biochar sekam padi-kompos yaitu dengan nilai kadar Mg sebesar 1.52 ppm, perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol dan biochar tongkol – kompos. Pada tanah Litosol perlakuan terbaik yaitu pada aplikasi biochar tongkol jagung dengan nilai kadar Mg sebesar 3.07 ppm, perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi, Biochar tongkol-pupuk kandang kotoran ayam dan biochar sekam padi – kompos.



Gambar 31. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 54. Hasil analisis nested design kadar Mg (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.045
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.074
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 54. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Mg tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 54. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Mg.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 54. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Mg tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 54. menunjukkan nilai sig (0.045) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Mg tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 54. menunjukkan nilai sig (0.074) < $\alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Mg tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 54. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Mg tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 55.

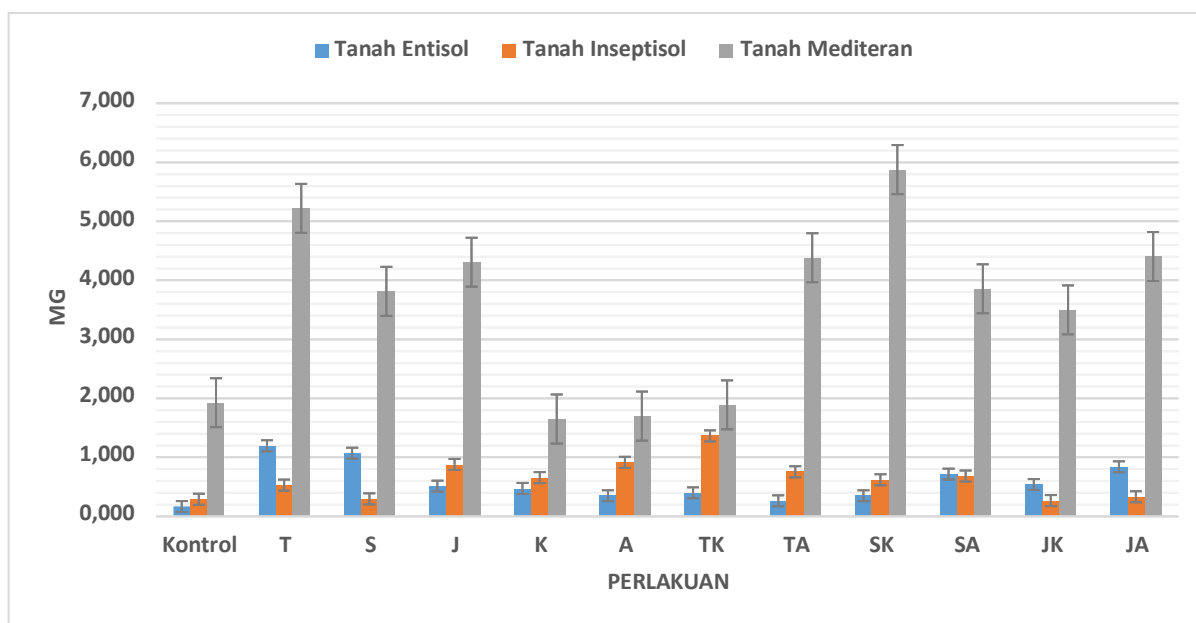
Tabel 55. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	1,927	0,196	a	0,167	0,012	a	0,290	0,010	a
T	5,220	0,261	cd	1,197	0,295	e	0,530	0,175	ab
S	3,813	0,771	b	1,070	0,087	de	0,297	0,047	a
J	4,307	0,576	bc	0,513	0,104	abc	0,880	0,030	b
K	1,650	0,215	a	0,473	0,156	abc	0,657	0,268	ab
A	1,700	0,173	a	0,350	0,131	ab	0,917	0,522	b
TK	1,890	0,159	a	0,400	0,357	abc	1,363	0,545	c
TA	4,383	1,117	bc	0,263	0,090	ab	0,757	0,152	ab
SK	5,877	0,426	d	0,350	0,131	ab	0,620	0,167	ab
SA	3,857	1,004	b	0,717	0,358	bcd	0,683	0,160	ab
JK	3,500	0,745	b	0,540	0,518	abc	0,267	0,125	a
JA	4,403	0,224	bc	0,840	0,255	cde	0,333	0,042	a

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Hasil uji kadar Mg pada masing-masing jenis tanah menunjukkan adanya perbedaan hasil saat umur 112 hari. Pada Tabel 55 menjelaskan bahwa respon dari aplikasi biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun kombinasi memiliki hasil yang berbeda di tanah Alfisol, Entisol dan Litosol. Pada tanah Alfisol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan biochar sekam padi – kompos, pada tanah Entisol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan biochar tongkol jagung dan pada tanah Litosol perlakuan biochar tongkol-kompos merupakan perlakuan terbaik.



Gambar 32. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.11. Kadar Na

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 53, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 54.

Tabel 56. Hasil analisis nested design kadar Na pada 7 hari

Sumber Keragaman	kadar Na
Jenis tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Alfisol	0.000
Biochar dan pupuk organik pada tanah Entisol	0.995
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	0.995

Tabel 56. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) dan biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel kadar Na.

Jenis Tanah

Tabel 56. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar Na.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 56. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 56. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 56. menunjukkan nilai sig (0.995) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Na

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 56. menunjukkan nilai sig (0.995) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Na. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 57.

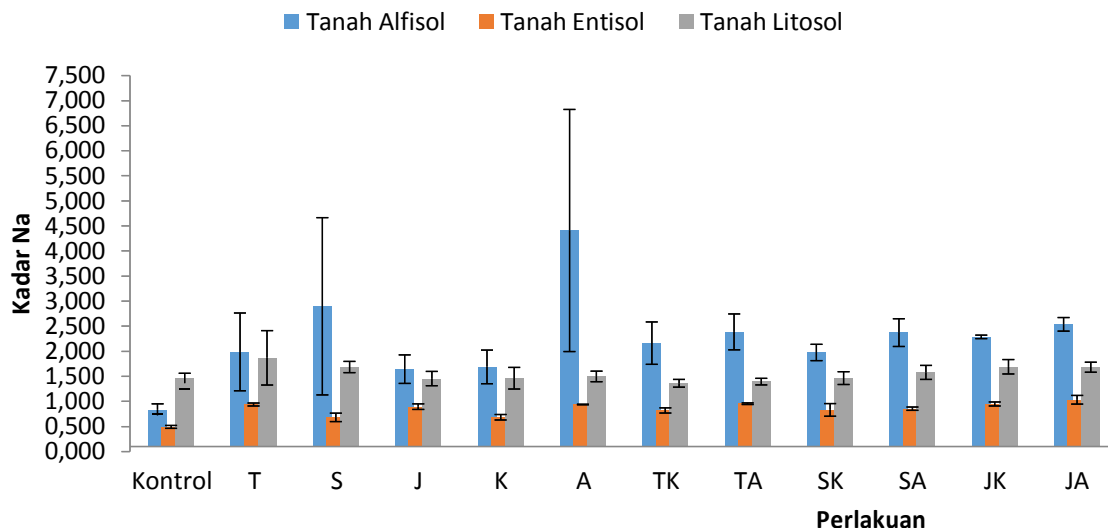
Tabel 57. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	0.836	0.115	a	0.492	0.029	a	1.462	0.099	a
T	1.987	0.775	bc	0.938	0.029	a	1.868	0.543	a
S	2.897	1.768	ab	0.681	0.083	a	1.685	0.112	a
J	1.643	0.285	ab	0.895	0.055	a	1.455	0.143	a
K	1.688	0.334	d	0.684	0.056	a	1.463	0.216	a
A	4.408	2.415	bc	0.939	0.005	a	1.498	0.104	a
TK	2.163	0.423	bc	0.820	0.052	a	1.360	0.077	a
TA	2.386	0.358	bc	0.954	0.017	a	1.394	0.066	a
SK	1.975	0.163	bc	0.830	0.126	a	1.465	0.127	a
SA	2.372	0.277	bc	0.854	0.034	a	1.577	0.140	a
JK	2.286	0.034	c	0.949	0.039	a	1.691	0.144	a
JA	2.537	0.135	bc	1.032	0.087	a	1.682	0.100	a

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Perlakuan biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun secara kombinasi pada jenis tanah Entisol dan Litosol pada masing-masing perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kadar Na umur 7 hari. Pada jenis tanah Alfisol perlakuan biochar jengkok tembakau-kompos dengan nilai kadar Na sebesar 2.23 ppm merupakan perlakuan terbaik dimana perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biocharsekam padi dan biochar jengkok tembakau.



Gambar 33. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (7 hari)

Tabel 58. Hasil analisis nested design kadar Na pada (60 hari)

Sumber Keragaman	kadar Na
Jenis tanah	0.000
Biochar-pupuk organik pada tanah	0.002
Biochar-pupuk organik pada tanah Alfisol	0.019
Biochar-pupuk organik pada tanah Entisol	0.839
Biochar-pupuk organik pada tanah Litosol	0.000

Tabel 58. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar-pupuk organik pada jenis tanah) dan Biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na.

Jenis Tanah

Tabel 58. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar Na

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 58. menunjukkan nilai sig (0.002) < α (=0.05), sehingga biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 58. menunjukkan nilai sig (0.019) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 58. menunjukkan nilai sig (0.839) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap kadar Na

Biochar-pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 58. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar-pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap kadar Na. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 59.

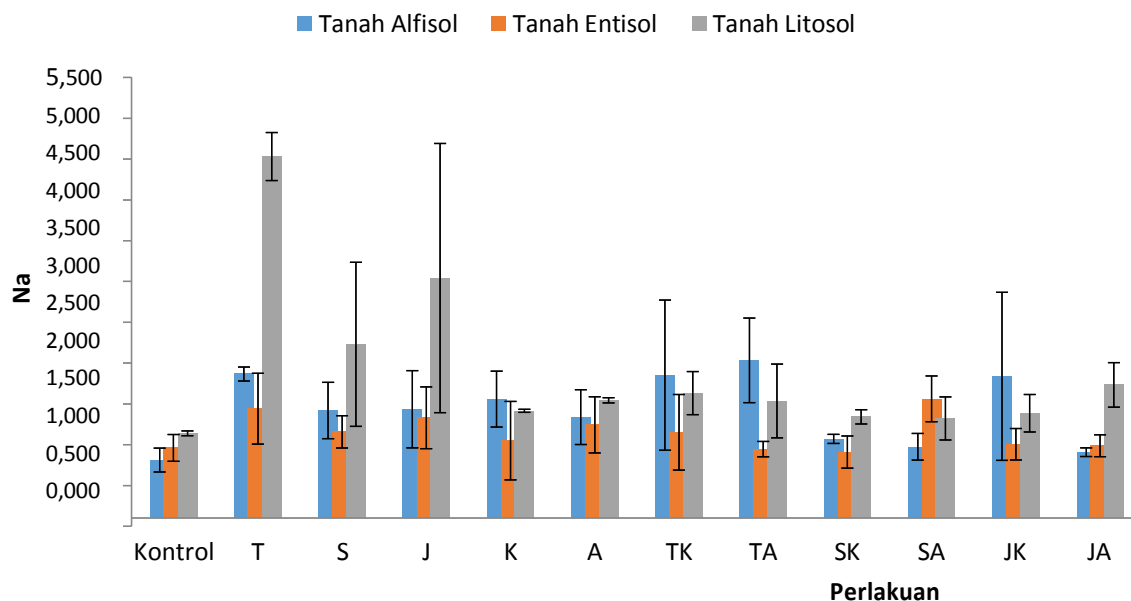
Tabel 59. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-rata	Stdev	Notasi
Kontrol	0.811	0.146	a	0.960	0.165	a	1.139	0.030	a
T	1.866	0.086	bc	1.441	0.434	a	4.531	0.295	d
S	1.419	0.345	abc	1.157	0.197	a	2.229	1.006	bc
J	1.434	0.474	abc	1.330	0.378	a	3.042	1.649	c
K	1.558	0.342	abc	1.048	0.481	a	1.414	0.018	ab
A	1.337	0.336	ab	1.242	0.344	a	1.543	0.032	ab
TK	1.851	0.921	bc	1.152	0.463	a	1.632	0.263	ab
TA	2.033	0.518	c	0.946	0.094	a	1.536	0.452	ab
SK	1.070	0.056	ab	0.909	0.196	a	1.341	0.088	ab
SA	0.974	0.164	a	1.561	0.280	a	1.321	0.264	ab
JK	1.837	1.030	bc	1.005	0.193	a	1.384	0.230	ab
JA	0.907	0.053	a	0.986	0.134	a	1.733	0.273	ab

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Perlakuan biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun secara kombinasi pada jenis tanah Entisol pada masing-masing perlakuan tidak berpengaruh nyata terhadap kadar Na umur 60 hari (Tabel 59). Pada jenis tanah Alfisol perlakuan Biochar tongkol-pupuk kandang kotoran ayam dengan nilai kadar Na sebesar 2.03 ppm merupakan perlakuan terbaik dimana perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Pupuk organik kandang kotoran ayam dan Biochar sekam padi- kompos. Pada jenis tanah Litosol perlakuan terbaik dengan nilai kadar Na sebesar 4.53 ppm dari perlakuan biochar tongkol jagung yang berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau.



Gambar 34. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (60 hari)

Tabel 60. Hasil analisis nested design kadar Na (112 hari)

Sumber Keragaman	Sig.
Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Tanah	0.000
Biochar dan pupuk organik pada Entisol	0.003
Biochar dan pupuk organik pada Litosol	0.003
Biochar dan pupuk organik pada Alfisol	0.000

Tabel 60. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), dan Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Na tanah setelah inkubasi.

Jenis Tanah

Tabel 60. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Na .

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 60. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Na tanah.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol

Tabel 60. menunjukkan nilai sig (0.003) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Na tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Litosol

Tabel 60. menunjukkan nilai sig (0.003) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Litosol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Na tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Alfisol

Tabel 60. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Alfisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Na tanah. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 61.

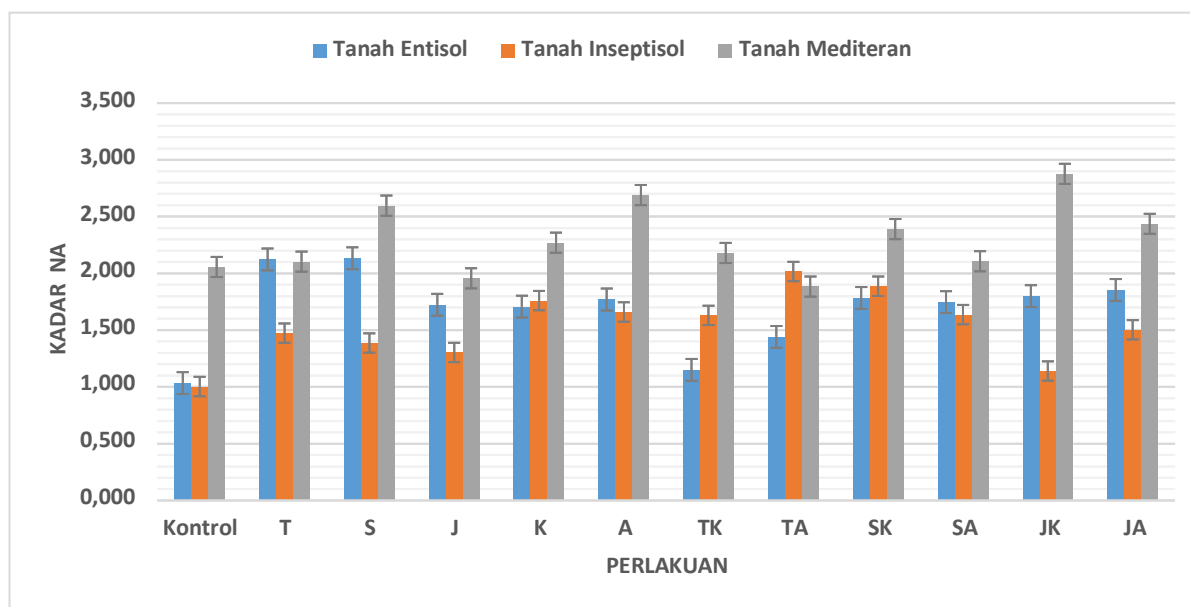
Tabel 61. Hasil uji DMRT kadar Na pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

Perlakuan	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi	Rata-Rata	\pm Stdev	Notasi
Kontrol	2,057	0,040	d	1,033	0,270	ab	1,003	0,170	e
T	2,103	0,267	ab	2,123	0,486	c	1,473	0,189	abcd
S	2,597	0,047	bcd	2,133	0,060	c	1,387	0,206	abc
J	1,957	0,435	a	1,723	0,112	bc	1,303	0,163	ab
K	2,270	0,066	abc	1,707	0,060	bc	1,760	0,125	cde
A	2,690	0,315	bcd	1,770	0,128	bc	1,660	0,195	bcde
TK	2,180	0,165	ab	1,150	0,092	a	1,630	0,336	bcde
TA	1,883	0,352	a	1,440	0,236	ab	2,017	0,306	e
SK	2,390	0,415	abc	1,783	0,189	bc	1,887	0,105	cd
SA	2,107	0,505	ab	1,747	0,476	bc	1,637	0,431	bcde
JK	2,877	0,201	cd	1,800	0,339	bc	1,140	0,066	a
JA	2,437	0,556	abc	1,853	0,215	bc	1,503	0,172	abcd

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan α =5%

Hasil kadar Na pada jenis tanah Alfisol didapati bahwa perlakuan dapat menurunkan kadar Na, demikian pula pada Litosol kecuali perlakuan TA. Berbeda pada Entisol yang diperlakukan dengan biochar tongkol dan biochar sekam dapat meningkatkan kadar Na (Tabel 61).



Gambar 35. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Na pada masing-masing jenis tanah (112 hari)

5.4.12. Efek dari perubahan biochar dan pupuk organik pada tekstur tanah saat panen

Persentase kadar liat menurun dan kadar debu meningkat dengan penggunaan biochar dan pupuk organik pada Alfisol (Tabel 5). Persentase kadar liat lebih banyak menurun, dari 77% (kontrol) menjadi 57% (TA) maupun 58% (T). Kadar liat yang tinggi pada Alfisol menyebabkan retensi air yang tinggi sehingga sistem aerasi terhambat. Berkurangnya kadar liat berarti memperbaiki penyediaan oksigen yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman sehingga hasil jagung meningkat pada perlakuan TA (Alfisol). Widowati *et al.* (2017), melaporkan kombinasi biochar dan pupuk organik meningkatkan porositas dan pori makro pada Alfisol, berturut-turut 21% dan 64% akan tetapi pori mikro menurun 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi).

Berbeda pada tanah berpasir, persentase kadar liat meningkat sedangkan debu maupun pasir menunjukkan persentase yang relatif tetap, meningkat ataupun menurun tergantung masukan bahan organik pada Entisol. Peningkatan kadar liat juga mampu meningkatkan hasil tanaman pada Entisol sekalipun terdapat variasi pada persentase debu dan pasir. Kenaikan jumlah liat menyebabkan retensi air dan KTK tanah Entisol meningkat setelah diberi perlakuan. Biochar sekam meningkatkan persentase kadar liat dari 3% (kontrol)

menjadi 16% (perlakuan) yang lebih besar daripada dua jenis biochar lainnya. Penggunaan kompos dan pupuk kandang meningkatkan persentase kadar liat yang sama dari 3% (kontrol) menjadi 10% (perlakuan) (Tabel 5). Kemampuan tanah mengikat air meningkat pada Entisol setelah penambahan biochar maupun pupuk organik karena meningkatnya pori meso 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4% dan pori makro menurun 21% (Widowati *et al.*, 2017). Hasil penelitian ini sejalan dengan Sukartono *et al.*, (2012), Aplikasi biochar dan pupuk menyebabkan sedikit perubahan retensi air tanah dan kapasitas air tersedia pada tanah lempung berpasir di Lombok. Purakayastha *et al.* (2013) melaporkan kapasitas memegang air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar.

Berbeda dengan Litosol tergolong tanah muda yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna sehingga persentase kadar pasir, debu dan liat belum menunjukkan kecenderungan meningkat ataupun menurun dengan masukan biochar maupun pupuk organik. Widowati *et al.* (2017) melaporkan biochar jengkok dapat menurunkan pori meso tanah Litosol 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Lebih lanjut disampaikan pori mikro berkurang 12% setelah diterapkan pupuk kandang kombinasi biochar sekam maupun dengan biochar tongkol, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos.

Tabel 62. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tekstur tanah Entisol, Litosol, Alfisol pada saat panen

Perlakuan	Entisol			Klas	Alfisol			Klas	Litosol			Klas
	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)		Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)		Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	
Kontrol	81	16	3	pasir berlempung	11	13	77	liat	14	23	63	liat
T	78	16	6	pasir berlempung	11	31	58	liat	8	27	65	liat
S	81	3	16	lempung berpasir	11	25	63	liat	15	21	64	liat
J	87	7	7	pasir	10	28	62	liat	14	16	69	liat
K	84	7	10	pasir	12	25	63	liat	12	27	61	liat
A	86	3	10	pasir berlempung	9	24	67	liat	11	24	66	liat
TK	76	18	6	pasir berlempung	12	14	74	liat	17	25	58	liat
TA	81	6	13	pasir berlempung	10	33	57	liat	12	18	70	liat
SK	78	16	6	pasir berlempung	11	30	59	liat	15	21	63	liat
SA	78	12	9	pasir berlempung	11	26	63	liat	11	33	56	lempung berliat
JK	81	6	13	pasir berlempung	11	29	59	liat	14	20	65	liat
JA	76	12	12	lempung berpasir	12	22	66	liat	16	17	67	liat

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. KESIMPULAN

- Pertumbuhan dan hasil tanaman terbaik dari penggunaan biochar tongkol kombinasi pupuk kandang pada Alfisol. Hasil jagung dari penggunaan secara kombinasi ditingkatkan 7,7% (dibanding pupuk kandang) dan 44,8% (dibanding biochar tongkol) pada Alfisol.
- Pertumbuhan tanaman terbaik pada penggunaan biochar jengkok kombinasi pupuk kandang pada Litosol, tetapi hasil tanaman ditingkatkan rata-rata 132,5% dengan pupuk kandang yang diterapkan secara tunggal maupun kombinasi dengan jenis biochar (dibanding kontrol).
- Pertumbuhan tanaman terbaik pada penerapan pupuk kandang pada Entisol, tetapi penggunaan jenis biochar dan pupuk organik secara tunggal maupun kombinasi menunjukkan hasil jagung yang sama, meskipun meningkat 108% dibanding kontrol.
- Jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan pada Entisol memberikan tanggapan yang sama terhadap hasil jagung.
- Penggunaan biochar tongkol dan pupuk kandang pada Alfisol menghasilkan kadar N (0,24%), P (114,1 mg kg⁻¹), dan K (4,70 me 100 g⁻¹) seimbang untuk hasil biji terbaik.
- Penggunaan biochar sekam dan pupuk kandang pada Litosol menghasilkan kadar N (0,19%), P (45,56 mg kg⁻¹), dan K (0,67 me 100 g⁻¹) seimbang untuk hasil biji terbaik.
- Kadar liat meningkat pada Entisol dan menurun pada Alfisol dengan menggunakan biochar dan pupuk organik secara kombinasi maupun tunggal.
- Bahan organik tanah, pH tanah, kadar N total, P tersedia, KTK tanah, jumlah kation basa, meningkat pada ketiga jenis tanah.
- Jenis tanah menentukan kemampuan biochar sebagai penyedia Ca dan Mg (Litosol) maupun menyimpan kation basa (Alfisol dan Entisol).
- Sifat tanah dari penerapan biochar dan pupuk organik yang berbeda menunjukkan hasil jagung yang tidak berbeda pada Entisol.
- Penggunaan biochar jengkok-pupuk kandang secara bersama lebih baik daripada secara tunggal pada Alfisol, seperti pH, bahan organik tanah, jumlah basa, KTK, dan kadar N total.
- Aplikasi kombinasi lebih menguntungkan daripada secara tunggal untuk kadar P tersedia (7 dan 112 hst) pada tanah Alfisol dan Litosol, tetapi kadar N total tanah pada 7 hst.

6.2. SARAN

Penelitian dalam polibag masih perlu kolaborasi di tingkat lapangan agar diperoleh hasil yang mewakili.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kemenristek-Dikti yang telah mendukung dana pada Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi tahun kedua (2018).
2. PT Gudang Garam, Tbk yang telah menyediakan biochar jengkok tembakau dari hasil industri tembakau.
3. PT Bisi Internasional, Tbk yang telah menyediakan limbah tongkol jagung.
4. LPPM Universitas Tribhuwana Tungadewi yang telah memberi fasilitas manajemen penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., Cornelissen, G. 2015. Biochar Amendment Increases Maize Root Surface Areas and Branching: A Shovelomics Study in Zambia. *Plant Soil* 395: 45–55.
- Ammu, P. and Anitha, S. 2015. Production and Characterisation of Biochar From Different Organic Materials. *Journal of Tropical Agriculture*, 53 (2), pp. 191-196.
- Amonette JE, Joseph S. 2009. Characteristics of biochar microchemical properties. In: Lehman J, Joseph S (eds). *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London.
- Anita Nur Khoiriyah, Cahyo Prayogo, Widiyanto*. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 3 No 1 : 253-260, 2016.
- Ardakani, M. R. and M. Sharifi. 2017. Worm Castings-Based Growing Media with Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Producing Organic Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Greenhouse. *Iranian Journal of Plant Physiology* 7 (3), 2083-2093.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., Horie, T. 2009. Biochar Amendment Techniques for Upland Rice Production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Res.* 111, 81–84.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa T, And Horie, T. 2009. Biochar Amandement Techniques Forupland Rice Production In Northern Laos. *Soil Physical Properties, Leaf Spadand grain yield. Field Crops Research*, 111, pp. 81–84.
- Bai, S.H., Reverchon, F., CY, X., ZH, X., Blumfield, T.J., Zhao, H.T., Van Zwieten, L., Wallace, H.M. 2015. Wood Biochar Increases Nitrogen Retention in Field Settings Mainly Through Abiotic Processes. *Soil Biol Biochem* 90:232–240.
- Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C. Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C., Genesio, L. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* L. *Europ. J. Agron.* 53:38-44.
- Biederman, L. A., Harpole, W. T. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. 5: 202- 214.
- Biederman, L.A., Harpole, W.T. 2013. Biochar and Its Effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling: A Meta-Analysis. *GCB Bioenergy*. 5: 202214.
- Bourke J, Manley-Harris M, Fushimi C et al. 2007. Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized charcoal. *Ind Eng Chem Res* 46 (18): 5954-5967.
- Bridgwater A, Boocock DGB. 2006. *Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion*. CPL Press, Newbury.
- Bruun, E.W., Petersen, C.T., Hansen, E., Holm, J.K., Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar Amendment to Coarse Sandy Subsoil Improves Root Growth and Increases Water Retention. *Soil Use Manag.* 30, 109–118.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2008. Agronomic Values of Greenwaste Biochar as A Soil Amendment. *Soil Res.* 45, 629–634.
- Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., and Engelhard, M.H. 2006. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37 : 1477 – 1488.
- Cheng, C.H., Lehmann, J. and Engelhard, M.H. 2008. Natural Oxidation of Black Carbon in Soils: Changes in Molecular Form and Surface Charge Along a Climosequence. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 72: 1598-1610.

- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D., Rutherford, D.W., Sparrevik, M., Hale, S.E., Obia, A., Mulder, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy* 3, 256–274.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 2-18.
- Downie, A., Munro, P., Grosky, A. 2009. Characterization of biochar-physical and structural properties. In: Lehmann & Joseph (eds). 2009. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan. p 13-29.
- Dugan, E., Verhoef, A., Robinson, S., Sohi, S. 2010. Biochar from Sawdust, Maize Stover and Charcoal: Impact on Water Holding Capacities (WHC) of Three Soils from Ghana. 19th World Congress of Soil Science, Symposium, pp. 9–12.
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S. and Lehmann, J. 2012. Characterization of Biochars to Evaluate Recalcitrance and Agronomic Performance. *Journal of Bioresour Technology*, 114, pp. 644-653.
- Gao, M., Liu, X., Li, N., Luo, P., Han, X., Yang, J. 2017. The impact of application of biocar on peanuts growing. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 274 012156.
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron J* 102:623–633.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weather soils in the tropics charcoal. A review. *Biology and Fertility of Soils* 35 : 219 – 230.
- Gokila, B. and Baskar, K. 2015. Characterization of Prosopis Juliflora. L Biochar and Its Influence of Soil Fertility on Maize in Alfisols. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, Vol. 5 (1): 123-127.
- Haefele MS, Konboon Y, Wongboon W, Amarante S, Maarifat AA, Pfeiffer ME. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.* doi:10.1016/j.fcr.2011.01014.
- Haryono. 2013. Lahan Rawa: Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia. IAARD Press, Jakarta. 141 hlm.
- Hunt J., DuPont M., Sato D., Kawabata A. 2010. *The basics of biochar: a natural soil admendment*. University of Hawaii at Manoa, Soil and Crop Management, 12.
- Joseph, S, Peacocke, C, Lehmann, J & Munroe, P. 2009. Developing a biochar classification and test methods, in Lehmann, J & Joseph, S, Biochar for environmental management: science and technology, Earthscan, United Kingdom: 107–26.
- Kammann, C.I., Linsel, S., Gößling, J.W., Koyro, H-W. 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil– plant relations. *Plant Soil*. 345: 195-210.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., Regina, K. 2011. Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity – Results from A Short-term Pilot Field study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140:309–313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>.
- Koide, R.T, Nguyen, B.T., Skinner, R.H., Dell, C.J., Peoples, M.S., Adler, P.R., and Drohan, P.J. 2015. Biochar Amendment of Soil Improves Resilience to Climate Change. *GCB Bioenergy* 7: 1084–1091, doi: 10.1111/gcbb.12191.
- Koutcheiko S, Monreal CM, Kodama H et al. 2007. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermochemical conversion of chicken manure. *Bioresour Technol* 98 (13): 2459- 2464.

- Lehmann J, da Silva JJP, Steiner C, Nehls T, Zech W, Glaser B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeo-logical Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *J Plant Soil* 249 : 343 – 357.
- Lehmann, J., Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: Biochar for Environmental Management - Science and Technology, 2nd edition. J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Routledge.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Marsiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota e A review. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1812-1836.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J., Neves, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1719. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J.E., Luizao, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1719–1730.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochars Effect on Crop Productivity and The Dependence on Experimental Conditions - A Meta - Analysis of Literature Data. *Plant Soil* 373: 583–594.
- Major, J, Lehmann, J, Rondon, M & Goodale, C. 2010a. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration, *Global Change Biology* 16(4): 1366–79.
- Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Børresen, T., Cornelissen, G., 2014. Farmerled Maize Biochar Trials: Effect on Crop Yield and Soil Nutrients Under Conservation Farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 681–695.
- Mia, S., van Groenigena, J.W., van de Voorde, T.F.J., Orama, N. J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffery, S. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191: 83–91.
- Mulyani, A. dan Sarwani, M. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Suboptimal Untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2: 47-56.
- Naeem, M. A., M. Khalid, M. Arshad and A. Rashid. 2014. Yield and nutrient composition of biochar produced from different feedstocks at varying pyrolytic temperatures. *Pak. J. Agri. Sci.* 51(1): 75-82.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Børresen, T. 2016. In Situ Effects of Biochar on Aggregation, Water Retention and Porosity in Light-textured Tropical Soils. *Soil Tillage Res.* 155: 35–44.
- Oguntunde, P.G., Abiodun, B.J., Ajayi, A.E. And Van De Giesen, N. 2008. Effects Of Charcoal production On Soil Physical Properties In Ghana. *Journal Of Plant Nutrient And Soil Science*, 171, pp. 591–596.
- Ouyang, L., Q. Tang, L. Yu and R. Zhang. 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. *Soil Research*, 52: 706-716.
- Q. Tang, L. Yu and R. Zhang. 2014. Effects of Amendment of Different Biochars on Soil Enzyme Activities Related to Carbon Mineralisation. *Soil Research*, 52: 706-716.
- Peng, X., Ye, L.L., Wang, C.H., Zhou, H., Sun, B. 2011. Temperature and Duration Dependent Rice Straw-derived Biochar: Characteristics and Its Effects on Soil

- Properties of An Ultisol in Southern China. *Soil Till. Res.* 112, 159-166.
- Phares, C. A., Osei, B. A., and Tagoe, S. 2017. Effects of Biochar and Poultry Manure on the Composition of Phosphorus Solubilizing Fungi and Soil Available Phosphorus Concentration in an Oxisol. *Journal of Agriculture and Ecology Research International* 12(2): 1-15, 2017; Article no.JAERI.34526.
- Purakayastha, T.J., Pathak, H. and Savita, K. 2013. Effect of Feedstock on Characteristics of Biochar and Its Impact on Carbon Sequestration in Soil. In: *Proceedings of National Seminar on Current Environmental Challenges and Possible Solutions*, 15-16 February 2013, University of Delhi, pp. 74-75.
- Purevsuren B, Avida B, Gerelmaa T et al. 2004. The characterization of tar from the pyrolysis of animal bones. *Fuel* 83: 799-805.
- Raveendran K, Ganesh A, Khilart KC. 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74: 1812-1822.
- Rondon, M.A., J. Lehmann, J. Ramirez, & M. Hurtado, 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *J. Biology and Fertility Soils* 43: 699-708.
- Rondon, M.A., Lehmann J., Ramírez, J. Hurtado M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol. Fertil. Soils*. 43:699–708.
- Schnitzer MI, Monreal CM, Jandl G, Leinweber P. 2007. The conversion of chicken manure to bio-oil by fast pyrolysis II. Analysis of chicken manure, biooils, and char by curie- point pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry (Cp Py-GC/MS). *J Environ Sciand Health B* 42: 79-95.
- Situmeang, Y.P. 2017. Agronomic Effectiveness of Bamboo Biochar on Corn Cultivation in Dryland. *J. Biol. Chem. Research*. Vol. 34, No. 2: 704-712.
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. and Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report* 05/09. Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. USDA. USA.
- Srinivasarao, C.H., Gopinath, K.A., Venkatesh, G., Dubey, A.K., Wakudkar, H., Purakayastha, T.J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B.L., Rajkhowa, D.J., Sandip Mandal, Jeyar Aman, S., Venkateswarlu, B., and Sikka, A.K. 2013. Use of Biochar for Soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, Andhra Pradesh, 51p.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., De Macêdo, J.L.V., Blum, W.E.H., Zech, W. 2007. Long Term Effects of Manure, Charcoal and Mineral Fertilization on Crop Production and Fertility on A Highly Weathered Central Amazonian Upland Soil. *Plant and Soil* 291:275-290. [http://dx.doi.org/ 10.1007/s11104-007-9193-9](http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9193-9).
- Sukartono and Utomo, W.H. 2012. The Role of Biochar as A Soil Amendment in Maize Cultivation on Tropical Loam Soil (Sandy Loam) of Tropical Semiarid of Lombok. *Buana Sains* 12 (1) : 91-98 (in Indonesian).
- Tambunan, Sonia., Siswanto, B., dan Handayanto, E. 2014. Pengaruh Aplikasi Bahan Organik Segar dan Biochar Terhadap Ketersediaan P Dalam Tanah di Lahan Kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, Vol. 1, No. 1: 85-92.
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, D. 1994. The Role of Soil Organic Matter in Sustaining Soil Fertility. *Nature*, v.371, p.783-785.
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E. 2011. Effect of Cow Manure Biochar on Maize Productivity Under Sandy Soil Condition. *Soil Use Manag*, 27,

- 205–212.
- Wang, J., Xiong, Z., Kuzyakov, Y. 2016. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*. 8: 512-523.
- Wang, Y., Zhang, L., Yang, H., Yan, G., Xu, Z., Chen, C., Zhang, D. 2016. Biochar Nutrient Availability Rather than Its Water Holding Capacity Governs The Growth of both C₃ and C₄ Plants. *J Soils Sediments* 16: 801–810.
- Widowati and Asnah. 2014. Biochar Effect on Potassium Fertilizer and Leaching Potassium Doses for Two Corn Planting Seasons. *Agrivita Journal Agriculture Sciences*, 36 (1): 65-71.
- Widowati, Sutoyo, Iskandar, T., and Karamina, H. 2017. Characterization of Biochar Combination With Organic Fertilizer: The Effects on Physical Properties of Some Soil Types. *Bioscience Research*, 2017 14(4): 955-965.
- Widowati, Sutoyo, Iskandar, T., and Karamina, H. 2017. Characterization of Biochar Combination With Organic Fertilizer: The Effects on Physical Properties of Some Soil Types. *Bioscience Research*, 14(4): 955-965.
- Widowati, Utomo, W.H., Soehono, L.A. and Guritno, B. 2011. Effect of Biochar on the Release and Lossof Nitrogen from Urea Fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 1: 127-132.
- Widowati. Asnah, W. H. Utomo. 2014. The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. *Journal of Degraded and Mining Land Management* 2 : 211-218.
- Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A. and Singh, S. 2014. Characteristics of Biochars From Crop Residues: Potential for Carbon Sequestration and Soil Amendment. *Journal of Environmental Management*, No. 146: 189-197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.003>.
- Xu, C.Y., Hosseini-Bai, S., Hao, Y., Rachaputi, R.C., Wang, H., Xu, Z., Wallace, H. 2015. Effect of biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 22: 6112-6125.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. and Zimmerman, A.R. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89 : 1467–1471.
- Yu C, TangY, Fang M et al. 2005. Experimental study on alkali emission during rice straw pyrolysis. *J Zhejiang Univ Eng Sci* 39: 1435-1444.
- Zwieten VL, Kimber S, Morris S, Chan YK, Downie A, Rust J. 2010. Effect of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235–246.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Instrumen File pdf Artikel yang telah dipublikasi



Available online freely
at www.isisn.org

Bioscience Research

Print ISSN: 1811-9506

Online ISSN: 2218-3973

Journal by Innovative Scientific Information & Services Network



RESEARCH ARTICLE

BIOSCIENCE RESEARCH, 2017 14(4): 955-965.

OPEN ACCESS

Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types

Widowati, Sutoyo, Taufik Iskandar, and Hidayati Karamina

Agrotechnology Department, Agriculture Faculty, Univerisity of Tribhuwana Tungadewi Malang, East Java, Indonesia

*Correspondence: widwidowati@gmail.com Accepted: 10 Sep. 2017 Published online: 10 Dec. 2017

Variability of biochar, organic fertilizer as well as soil type characteristics may causes different physical properties of the soil. The research aims to examine the characteristics of biochar and organic fertilizer on the physical properties of some soil in dry land in Malang Regency. Incubation was conducted in greenhouses using three types of infertile soils and low productivity consists of lithosol, mediteran (clay) and regosol (sandy-loam). Twelve different treatments contain biochar (from rice husk, corncob and crook-cigarette industry byproduct), and organic fertilizer (single or combination of compost or dung) include controls was examined. Biochar-organic fertilizer mixed with soil (3.85 kg) at 150 g pot⁻¹ (single) and 75 g pot⁻¹ (combination) incubated at 70-80% field capacity. The physical properties of the soil were observed after 98 days incubation. The results showed that combination of biochar-organic fertilizer may greatly improve physical properties of soil. Corncob biochar - dung in litosol increase porosity (14%) and macro pore (21-24%). Crooked biochar - compost increased porosity (21%) and macro pore (64%) in mediteran but decreases micro pore (25.4%) from 28.3% to 21.1%. Crooked biochar could decrease meso pit of lithosol (56%) from 11.5% to 5.0%. Meso pores decreased respectively at 33% and 49% which is from 17.4% to 11.7% (corncob biochar) and 8.7% (rice husk biochar) in mediteran. Micro pore reduced 12% by combination of husk biochar – dung as well as corncob biochar – compost in lithosol . Biochar-dung in regosol could increase meso pores 28.4%) from 9.6% to 13.4%, but the macro pore decreased 21%.

Keywords: physical properties of soil, porosity, macro and micro pore.

INTRODUCTION

South Malang was the third largest area in East Java which is mostly contain by dry soil (Widowati et al. 2015). Dry soil was the mainly problem which is disturbed the plant sorption of the nutrients and may influence in soil productivity. Improvement of soil physical properties should be carried out in order to obtain the optimum quality. Soil texture is the most factors which is affect the organic matter content and water existance. The amount of clay was essential to hold the important organic matter and create soil fertility, indicates that organic materials volatile and stable are contribute to the soil properties. Sutono and Nurida (2012), Sukartono and Utomo (2012); Yu et al. (2013), has demonstrated that biochar improves the ability of soil to hold water. It is worthwhile to increase water existance in sandy soils as well as reducing the water in clay soils. Sandy soil lead the oxidation of the organic matter and easier to throughout, in other hand much water and aeration hampered the oxidation. Soil organic matter content may also influence by cover vegetation and the presence of lime.

Water content, soil texture, soil structure, organic matter, and topography was influenced in particle density. More organic matter in the soil will increase pore space and minimize the density. At the same volume organic matter is lighter than soil solids, and it may affect to the density of soil particles and soil moisture content. Biochar has been reported to improve physical properties eg groundwater retention, hydraulic conductivity (Oguntunde et al, 2008; Asai et al, 2009).

Soil moisture was affect into photosynthesis, transpiration-assimilation, chemical reaction, mineral and organic corrosion as well as a media of the nutrients motion. Excessive moisture might cause the nutrients washed out on the root and lifting salt was dissolved into upper layer in high evaporation. Similarly, excessive water may block air circulation which is induced no oxygen condition for the roots then crop may be deaths. Previous study has reported that plant growth and agronomic performance depend on biochar characteristics and concentrations as well as the types of soil and plant species (Glaser et al, 2012). Variability of biochar characteristics such as permanently carbon, surface area, ashes, nutrient, and pH and cation exchange capacity was found due to raw material properties and process condition (Manya, 2012). No specific studies have been carried out for vary of biochar type and organic fertilizer to addressing the soil fertility, whether in single or mixed applications. Various process conditions may cause tough to compare the results consider the effects of biochar characteristics. There are limited studies for biochar and organic fertilizer application into soil and the effect on physical properties. The study aims to characterize biochar-organic fertilizers applicate into soil types as well as soil physical properties that implicate the suitability of biochar and organic fertilizers as an amandment to gain the soil fertility

MATERIALS AND METHODS Soil

Composite sample 0-30 cm consist of litosol (entisol order) was taken from dry land in Southern Malang Regency, Purwodadi Village, Donomulyo Subdistrict, Sukowilangun Village, Kalipare Subdistrict, and Sumberrejo Village, Poncokusumo Subdistrict. Donomulyo District is located at 112 ° 23'30 " - 112 ° 29'64" BT and 8 °

16'75 " - 8 ° 19'81" LS. Ground material of Litosol came from igneous rock or hard sediment which is

has not weathering process perfectly and may lead the infertile and low productivity so that might not use for agriculture. This soil were located in Kalipare Sub-district is 21,950 - 29,610 BT and 9,400 - 16,480 LS with Red and Yellow Mediteran soil consist of Afisol Order. Kecamatan Poncokusumo, approximately 24 km from the capital district, consists of Regosol land Entisol Order. The soil may cause dry growth of vegetables due to sandy loam condition and low nutrients contents.

Air dry- ground samples at room temperature with moisture content of 0.34 g g⁻¹ (Regosol); 0.5 g g⁻¹ (Litosol); And 0.61 g g⁻¹ (Mediteran) (Soil Laboratory Survey Manual Method, 2004). Pipette method was used to particle sizing distribution and potassium dichromate used to oxidize the soil organic carbon. Sample ring used to weight the content, particle, and porosity. pF curve gravimetrically at 0; 2; 4.2 used to determine the percentage of ground pore space based on calculation (pF curve is not presented in this paper, please contact the author).

Biochar production

Raw materials are produced from rice husks, corncobs, and crooked (tobacco industry byproduct). Biochar rice husks and corncobs are produced at 350 – 500°C for 4 hours by fixed bed pyrolysis equipment equipped with a separator system connected to the condenser. The

production was conducted at the Bioenergy Laboratory of Tribhuwana Tunggal University Malang. Biochar crooked produced at temperature 700°C for 15 minutes by ethanol pyrolysis tools at PT. Gudang Garam, Tbk. Raw husk obtained from commercial rice mills PT. International Branch of Kediri.

Characteristic of biochar and organic fertilizer

Biochar characterization such as bulk density was carried out by using FCO method (1985), 1120.37 '41" BT) was applied for the treatment, with

36°C, relative humidity of approximately 43-86%, and light intensity about 365-1997 lux. Treatment consists of 2 factors, first is soil type (Regosol, Litosol and Mediteran). The second factor is combination both biochar and organic fertilizer with 12 treatments. Biochar and organic fertilizer distribution into each soil repeated three times, so totally treatment 108 pots. Each soil sample was placed into a plastic pot (18 cm diameter and 25 cm high). Biochar corn cobs are ground to be <2 mm, whereas biochar crooked tobacco and biochar rice husk were applied directly.

3.85 kg of soil mixed with 150 g of biochar or organic fertilizer according to treatment with ratio of biochar-organic fertilizer is 1 : 1 applied in 4% w/w and 1.2 mg/m³ of bulk density (similar to field conditions). Soil weights of biochar and or organic fertilizer per each pot were up to 4 kg. Ring sample (5 cm in diameter and 5 cm in height) was immersed up to 15 cm from the top soil surface to measure the physical properties of the soil. This is equivalent to the biochar and / or organic fertilizer alteration which raised up to 9.6 ton ha⁻¹ in 20 cm layer. During incubation, groundwater was maintained at 0.11-0.18 g g⁻¹ (equivalent to 70 - 80% of field capacity) using 1 liter of water added every 21 days. 70 - 80% of water content were used to get dry conditions. Then the physical properties was measured at the end of 98 days incubation to assess the effect of changes in biochar and or organic fertilizer.

Statistic analysis

This research uses nested design, factor 1 (Nest) is a type of soil, namely the land of Regosol, Litosol and Mediteran and factor 2 (the nested) is biochar and organic fertilizer, namely: Control : without biochar or organic fertilizer

water holding by AOAC method 19th Ed., 2012, method 969.05; Total C was determined by the Gravimetric method and particle size (ASTM) was measured using mechanical method. Then the organic fertilizers were analyzed using AOAC (2010) standard procedures.

Biochar and organic fertilizer incubation into soil

Greenhouse at the Tribhuwana Tunggal University, Malang, Indonesia (7,48 '50 "BS and mean annual temperatures in range 16°-

Soil characteristic

Characteristics of each soil types are shown in Table 1 below. Clay textured up to 86%, sand fraction and very low organic carbon was contained in Regosol. Clay textured in both litosol and mediterans respectively 65% and 76%. Organic carbon soil is low in lithosol and very low in mediteran. All of those soils have low C / N which is have low pH (mediteran and regosol) to medium pH (litosol).

Table 1. Soil characterization

Parameter	Litosol	Mediteran	Regosol
Organic C (%)	1.36	0.72	0.48
pF 0 (cm ⁻³ cm ⁻³)	0.51	0.56	0.32
pF 2 (cm ⁻³ cm ⁻³)	0.36	0.40	0.15
pF 4.2 (cm ⁻³ cm ⁻³)	0.29	0.30	0.10
Macro pore(%)	15	16	17
Meso pore (%)	7	10	5
Micro pore (%)	29	30	10
BJ (g cm ⁻³)	2.46	2.49	2.12
DMR (mm)	1.27	1.13	0.56
Sand (%)	11	9	86
Ash (%)	24	15	3
Clay (%)	65	76	11
Texture	Clay	Clay	Sand clay

Physical characteristic of biochar and organic fertilizer

Table 2 represent the physical characteristics of biochar and organic fertilizer which are followed corncob biochar > biochar crooked tobacco > biochar husk. More over the value of organic carbon from dung was bigger compost. The lowest of carbon and the highest of ash content was raised in rice husk biochar, on the other hand, highest carbon content and lowest ash on

S : Rise husk biochar
 T : Corncob biochar
 J : Crooked (tobacco) biochar
 SA : Rise husk biochar – dung
 SK : Rise husk biochar – compost
 TA : Corncob biochar – dung
 TK : Corncob biochar – compost
 JA : Crooked biochar – dung
 JK : Crooked biochar – compost
 A : Dung
 K : Compost

Two Way ANOVA was used to analyzed then followed by DMRT (Duncan Multiple Range Test) and also correlation and regression analysis

RESULTS AND DISCUSSION

corncob biochar.

Ender et al. (2012) reported that high ash in the biochar may led low fixed carbon content due to the high ash content inhibits carbon formation. There was significant effect ($p < 0.05$) of raw materials and temperature on agronomic properties of biochar. The ash content in this study raised 24 -53% which is had the same range with previous study reported by Muhammad et al. (2014) that the biochar ash content ranged between 25-52% and ash content significantly ($p < 0.05$) along with increasing temperature. The pyrolysis temperature and the raw materials have a significant impact on the chemical properties of biochar.

Water holding capacity depends on biochar and organic fertilizer which have result for biochar

rice husk > corncob biochar > dung > biochar crooked tobacco > compost. Downie et al. (2009) and Sohi et al. (2010) conveying the surface area and porosity of biochar under different pyrolysis temperatures have significant potential effect on water holding capacity, adsorption capacity (particle ability to stick to the biochar surface) and nutrient retention capability.

Bulk density of biochar rice husk, corncob, and tobacco crooked respectively 0.65; 0.27; and 0.31 g cm⁻³. According to Ammu and Anitha (2015), low of weight, porosity and high water holding capacity make biochar suitable for nutrient and water management.

Biochar pores are higher than organic fertilizers pore (Table 2). Distribution of grain particles using 30 meshes and 18 mesh shown was greatly raised on crooked biochar. The opposite result was measured when 325 mesh and 60 mesh was used, corncob biochar particle raised the highest one. The particle size of biochar is produced from pyrolysis (temperature and residence time in the furnace) of organic matter which depends on physical properties of material origin (Gaskin et al, 2008).

The effects of biochar combination with organic fertilizer on the physical properties of some soil types

Physical properties alteration as response of the combination of biochar and organic fertilizer applied in some soil type were analyzed. The combination was greatly influence for the content weight, particle weight, porosity, and soil pore (macro, meso, and micro) contents with significant value $\alpha (= 0.05)$ (show in Table 3 – 8 below).

The content weight

Generally, the provision of biochar and organic fertilizer decreases the content weight in the three soil types, however it may not be occur on the rest of some soil types. Brady and Weil (2004) has reported that biochar has a much lower bulk density than mineral soils in the tropics (~ 0.3 mg m⁻³ for biochar compared to the volume weight of 1.3 mg m⁻³) which is desirable for growth plantation. Moreover, the soil strength reduced by biochar applications (Chan et al, 2007). The provision of organic matter trigger the aggregation created a pore space which is could decrease of particulate solid particles, implicate to reduce soil compaction and make the roots easier through the soil. The treatment also affect in the difference of the lowest weights for three soil type. Regosol has the lowest content weights using rice husk biochar

treatment and the same time raised the highest Bulk density. Three types of biochar given the same content weight when treated in lithosol. the weight of the soil content is lower than if only using a single biochar. While organic fertilizer combined to the biochar, it would have lower content weight of lithosol compared with only biochar specifically 16% and 7%. Application of corncob biochar – dung, rice husk biochar – compost and rice husk – dung on mediteran implied the same content weight which is decreases into 17 - 26%.

The particle weight

The particle weight of regosol increases with the combination corncob biochar - dung as well as crooked biochar - organic fertilizer (compost or dung). The highest particle weight in lithosol was raised when it is treated with corncob and/or crooked biochar – dung combination. Similarly, the highest particle weight in mediteran was obtained when treated by crooked biochar – dung. Rough textured have a lower water holding capacity compared with the opposite textured. Organic matter level also affects in soil aggregation which is turn to the particle weight, content weight, and pore space in the soil.

Porosity

Almost all of the treatments did not decrease the porosity of the soil regosol in this study, even increased with rice husk biochar. Porosity of regosol increased by 8%, from 57% (control) to 62% (rice husk biochar). Moreover, porosity increased after treated the biochar-organic fertilizer on lithosol and mediteran land. The best treatment for increasing the porosity of clay comes from a combination of biochar and organic fertilizer. Combination of corncob biochar – organic fertilizer increases porosity of lithosol by 14%, while the crooked biochar - compost increases porosity of mediteran by 21%. Asai et al. (2009) has reported that biochar has a high total porosity and could store water in the pores implied high nutrient availability. However, combination of types of biochar - organic fertilizers indicate distinct respond to clay-textured due to different sand, dust, clay and organic C content (Table 1) which is similarly with the characteristics of biochar and organic fertilizer (Table 2). Ammu and Anitha (2015) stated that the highest porosity of wild wood biochar resulted in significantly higher water holding capacity into the clay-textured.

Table 2. Physical characteristic of biochar and organic fertilizer

Parameter	Karakteristik Biochar dan Pupuk Organik				
	Rce husk biochar	Corncob biochar	Crooked Biochar	Dung	Compost
Water retention (%)	326,04	249,6	143,7	213,38	111,68
BulkDensity (gram/cm ³)	0,65	0,27	0,31		
Volatile matter (%)	42	75	66		
Particle size (%)					
- 325 mesh(0,044 mm)	2,70	0,8	0,55	0,15	0,2
- > 60 mesh (0,250 mm)	16,75	14,25	4,9	3,05	7,6
- 30 mesh(0,595 mm)	42,60	54,2	79,9	10,55	22
- 18 mesh (1,00 mm)	68,15	70,8	94,9	20,95	36,2
Total C (%)	29,8	45,6	40		
Organic C (%)				25,02	15,58
Ash (%)	53,4	23,6	32,8		

Note: It was analyzed at PT Sucofindo Surabaya joint with PT Gudang Garam, tbk Gempol Pasuruan

Table 3. The content weight in regosol, litosol, and mediteran

Treatment	The content weight of the soil (g cm ⁻³)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	1.015	±	0.022	c	0.832	±	0.011	c	0.924	±	0.074	e
S	0.923	±	0.016	a	0.772	±	0.026	b	0.735	±	0.107	bc
T	0.962	±	0.037	ab	0.778	±	0.016	b	0.687	±	0.028	a
J	0.966	±	0.017	abc	0.767	±	0.005	b	0.808	±	0.023	d
SA	0.955	±	0.038	ab	0.699	±	0.026	a	0.697	±	0.026	a
SK	1.001	±	0.006	b	0.711	±	0.008	a	0.771	±	0.040	c
TA	1.013	±	0.046	c	0.689	±	0.022	a	0.710	±	0.034	ab
TK	0.972	±	0.017	abc	0.726	±	0.007	ab	0.790	±	0.010	c
JA	0.999	±	0.043	bc	0.720	±	0.010	ab	0.760	±	0.030	c
JK	0.960	±	0.053	ab	0.677	±	0.010	a	0.682	±	0.004	a
A	1.016	±	0.025	c	0.711	±	0.005	a	0.679	±	0.002	a
K	0.960	±	0.009	ab	0.823	±	0.041	c	0.771	±	0.039	c

Note : difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%)

Table 4. The particle weight of regosol, litosol and mediteran

Treatment	The particle weight (%)								
	Regosol			Litosol			Mediterran		
Kontrol	57.117		ab	63.924		a	58.582	± 2.842	a
S	61.598	± 0.996	d	65.816	± 1.329	ab	66.088	± 5.196	cd
T	58.536	± 0.310	ab	67.764	± 1.049	bc	68.911	± 1.204	d
J	57.874	± 2.709	ab	66.813	± 0.957	abc	62.372	± 1.232	b
SA	59.524	± 0.922	bc	70.243	± 0.664	d	70.872	± 1.086	de
SK	56.149	± 2.779	ab	67.580	± 1.172	bcd	66.180	± 1.987	cd
TA	58.042	± 0.189	ab	72.884	± 0.329	e	68.471	± 1.554	de
TK	58.190	± 1.515	ab	69.220	± 1.025	cd	65.197	± 0.952	c
JA	58.803	± 0.356	bc	69.239	± 1.808	cd	70.476	± 1.304	de
JK	60.555	± 2.138	cd	71.448	± 0.113	de	71.157	± 0.462	e
A	55.117	± 4.501	a	68.971	± 1.131	cd	70.541	± 0.292	de
K	58.628	± 0.907	bc	65.313	± 1.282	ab	66.907	± 2.193	c

Note: difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%)

Macro pore implied rapid drainage pores so that need decreasing of macro pore specially in regosol. Combination biochar and dung show the best result to decreased the macro in sandy soil, amounted to 21.4% from 37.3% to 29.3%. Lower macro pore almost got when dung fertilizer was applied compared to the three types of biochar - compost (Table 2), which is it may be more suitable for sandy soil. decline of macro pore is very important in sandy soil pores, as well as meso or micro pore increases so that water retention would be increased and could be utilized effectively.

In contrast, all treatments increase the macro pore of the mediterranean (clay-textured). Combination of crooked biochar – compost have significantly increased of the macro pore by 179% from 13% to 36%. This condition may not be same in the other combination when applied in litosol. Rice husk and corncob biochar gave the same effect to increase macro pore on litosol soil. The use of crooked biochar – dung combination shows better macro pore than a single-use biochar jengkok. The use of rise husk biochar – dung and corncob biochar – dung amendment

gave higher macro pores than single treatment (biochar only) in lithosol which is the pore increase of 28%, from 32% to 45%. This condition was greatly affect for root respiration.

There is a marked correlation both the content weight and the percentage of macro pores in the three soil types within the Rvalue = - 0.807 (regosol); R = - 0.454 (lithosol); R = -0.873 (mediteran). The result shown that the R2 value of 0.65 (regosol); 0.21 (litosol) and 0.76 (mediterranean) indicate. The content weight would be increased when the macro pore declined.

Meso pores gave higher water retention into the soil. In this study, the meso pore increased 28%, from 9.6% (control) to 13.4% (biochar and organic fertilizer) on sandy soils. Purakayastha et al. (2013) reported that the water capacity raised high value when rise husk biochar (561%) and corncob biochar (456%) was used. It further conveyed that the porosity was increased the surface area threefold and may affect to water retention in the soil.

Table 5. Porosity in regosol, litosol, and mediteran

Treatment	Porosity (%)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	57.117	±	0.996	ab	63.924	±	1.329	a	58.582	±	2.842	a
S	61.598	±	0.310	d	65.816	±	1.049	ab	66.088	±	5.196	cd
T	58.536	±	2.709	ab	67.764	±	0.957	bc	68.911	±	1.204	d
J	57.874	±	0.922	ab	66.813	±	0.664	abc	62.372	±	1.232	b
SA	59.524	±	2.779	bc	70.243	±	1.172	d	70.872	±	1.086	de
SK	56.149	±	0.189	ab	67.580	±	0.329	bcd	66.180	±	1.987	cd
TA	58.042	±	1.515	ab	72.884	±	1.025	e	68.471	±	1.554	de
TK	58.190	±	0.356	ab	69.220	±	1.808	cd	65.197	±	0.952	c
JA	58.803	±	2.138	bc	69.239	±	0.113	cd	70.476	±	1.304	de
JK	60.555	±	4.501	cd	71.448	±	1.131	de	71.157	±	0.462	e
A	55.117	±	0.907	a	68.971	±	1.287	cd	70.541	±	2.921	de
K	58.628	±	0.327	bc	65.313	±	1.365	bc	68.307	±	2.193	c

Note: difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%)

Table 6. The percentage of macro pores in regosol, litosol and mediteran

Treatment	Macro pore (%)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	37.345	±	5.501	b	32.359	±	1.744	a	13.010	±	2.580	a
S	38.556	±	0.483	b	36.476	±	0.862	b	27.512	±	1.875	cd
T	35.616	±	3.107	ab	36.932	±	2.576	b	33.022	±	3.434	d
J	35.159	±	1.040	ab	26.334	±	1.402	a	18.818	±	2.159	ab
SA	37.533	±	3.865	b	45.128	±	4.873	c	34.881	±	1.972	de
SK	31.980	±	0.376	ab	27.799	±	3.359	a	24.489	±	3.178	b
TA	31.888	±	4.780	ab	44.794	±	1.791	c	31.480	±	3.542	de
TK	35.050	±	0.118	ab	37.015	±	4.763	b	22.987	±	1.610	bc
JA	35.031	±	3.122	ab	35.407	±	3.623	b	28.991	±	3.880	cd
JK	37.935	±	5.449	b	40.087	±	2.287	bc	36.339	±	2.036	e
A	29.386	±	0.686	a	37.130	±	3.047	b	28.210	±	1.305	cd
K	35.617	±	0.741	ab	31.869	±	3.237	a	28.347	±	4.630	cd

Note: difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%)

Three types of whether in biochar - organic fertilizers combination or a single-use of biochar was increased the meso pore in sandy soil. This result are in line with Atkinson et al, (2010); Sutono and Nurida (2012); and Suwardji et al., (2012) which were reported that biochar effectively improves groundwater retention in sandy soils. The water available upto 16% specific in biochar-dung (cattla manure) (Sukartono and Utomo (2012) .The particle size distribution reflects to the pores and indicate that using biochar might increase the meso pore and surface

area of the soil texture than organic fertilizers in single-uses in sandy soil. Granulator may also contribute to the aggregation and make crumb structure organic material which is could increase water retention in to the soil.

Meso pores decreased respectively at 33% and 49% from 17.4% (control) to 11.7% (corn cob biochar) and 8.7% (rise husk biochar) on mediteran . Further meso pores also decreased using rise husk biochar - dung combination and corn cob biochar but it could not influence using biochar – compost combination. The use of

single-use of biochar both rise husk and/or corncob was decreased meso pore effectively than combine with dung. Crooked biochar whether in single-use or combined with dung may not affect to decrease meso pore, whereas gave some alter when crooked biochar - compost was trected in mediteran.

Different affect of crooked biochar application in both mediteran and litosol even there have same textured (clay) especially in meso pore. Litosol contain organic carbon two times as large as in mediteran, however the clay and meso pore levels of the lithosol are lower than the mediterane (Table 1). Crooked biochar may decrease meso pore 56% from 11.5% to 5.0% in lithosol, while that is may not influence in mediteran. Crooked biochar has low water holding capacity (143.7%) with particle size approximately 0.044 mm and 0.25 mm. It form are lower than the other biochar with particle size approximately 0.595 and 1 mm. Another of biochar useful also shown that there may not influence for meso pore in litosol. There was a marked correlation both the content weight and the percentage of meso pores with $R = 0.371$ (regosol) and $R = 0.578$ (mediteran), whereas in lithosol did not show any real correlation. R^2 value of 0.14 (regosol) and 0.33 (mediteran)

The micro pore indicates slow drainage pore which is determines high value of water retention. Provision of biochar - organic fertilizer combination has not an effect on increasing the percentage of micro pore even it's applied in sandy soil. In the other hand, all treatment may affect in micro pore when its applied in mediteran, except rise husk biochar. The use of crooked

biochar – compost and single-use of dung might decrease the micro pores at 25.4% from 28.3% to 21.1% in mediteran. Other treatments also affect in meso pore decline at 14.9% from 28.3% to 24.1% in mediteran. Decrease of percentage of micro pore in mediteran was useful to reduce excess water content that disturbs of air circulatio in the soil. The addition of organic matter plays a role for clay aggregation so that air circulation runs better. The use of three types biochar could affect whether increase or decrease the micro pore in litosol soil. Rise husk and corncob biochar might decreased the micro pore at 11.9% from 20.2% to 17.8% in lithosol, but the different condition was found when crooked biochar could gave increased the micro pore at 22.9% from 20.2% to 26.2% in lithosol. Crooked biochar has the lowest water retention and particle size (0.044 mm and 0.250 mm) but contain the highest particle size (0.595 mm and 1 mm) compared to other biochar.

The three types of biochar - dung can decrease the micro pores, but may not gave significantly affect when combined with compost in lithosol. The micro pore decline in clay implicated the reduction due to excess water which prevents air circulation. It thus might cause limited oxygen on the root followed by the death of the plant. There is a marked correlation between the contents weight of the clay soil with the percentage of micro pore with the value of $R = 0.557$ (litosol) and $R = 0.536$ (mediteran). The value of R^2 is 0.29 (mediteran) and 0.31 (litosol) but on sand the correlation may not gave their influence.

Table 7. The percentage of meso pore in regosol, litosol and mediteran

Treatment	Meso pore (%)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	9.614	±	4.262	a	11.456	±	1.166	bc	17.422	±	2.663	c
S	13.834	±	0.228	b	11.063	±	1.207	bc	8.783	±	5.935	a
T	12.328	±	0.738	ab	13.072	±	1.865	bc	11.718	±	2.943	a
J	12.791	±	0.199	ab	5.038	±	6.068	a	18.123	±	2.230	c
SA	12.231	±	0.979	ab	11.785	±	1.180	bc	12.787	±	1.453	b
SK	13.124	±	0.205	b	12.001	±	6.130	bc	18.256	±	0.905	c
TA	13.915	±	1.855	b	13.439	±	0.463	bc	12.065	±	2.540	b
TK	12.387	±	0.375	ab	11.498	±	2.040	bc	17.272	±	0.648	c
JA	13.838	±	1.016	b	12.855	±	1.720	bc	18.182	±	0.769	c
JK	12.866	±	1.029	ab	14.401	±	1.195	c	13.586	±	1.424	b
A	15.869	±	0.523	b	13.964	±	2.848	bc	15.748	±	0.248	bc
K	14.198	±	0.280	b	10.844	±	1.989	b	12.999	±	2.613	b

Note: difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%)

Table 8. The percentage of micro pore in regosol, litosol and mediteran

Treatment	Micro pore (%)											
	Regosol				Litosol				Mediteran			
Kontrol	10.171	±	0.297	bc	20.229	±	0.686	d	28.323	±	0.587	e f
S	8.933	±	0.116	a	17.745	±	0.441	c	29.827	±	0.756	bc
T	10.802	±	0.343	bc	17.836	±	0.284	c	24.198	±	0.723	d
J	9.982	±	0.031	b	26.192	±	0.731	f	25.167	±	1.259	b
SA	9.929	±	0.123	b	14.911	±	1.136	a	23.300	±	0.608	b
SK	10.934	±	0.114	bc	21.102	±	0.176	e	23.310	±	0.598	cd
TA	11.002	±	0.004	c	14.670	±	0.571	a	24.731	±	0.466	cd
TK	10.773	±	0.392	bc	19.226	±	0.689	d	24.820	±	0.312	b
JA	9.984	±	0.027	bc	18.844	±	0.270	d	23.122	±	2.186	a
JK	9.951	±	0.084	b	14.817	±	0.316	a	21.129	±	0.224	a
A	9.862	±	0.240	b	15.759	±	0.672	b	21.047	±	0.082	d
K	9.023	±	0.040	b	21.761	±	0.413	e	25.864	±	0.236	

Note: difference notation indicate the use of different fertilizer (analyzed by DMRT, α 5%) (14%) similarly in mediteran (21%).

CONCLUSION

Applied rise husk biochar gave the highest percentage to reduce the contents weight and increase porosity of regosol. Treatment using biochar – dung combination is better than single-use of biochar to decrease the content weight in litosol. Single-use of corncob biochar, rise husk biochar - dung, crooked biochar - compost, and crooked biochar – dung gave lower the content weight in mediteran.

The lowest content weight was given whne rise husk bio char (single-use) was treated in regosol. Lower content weight decline was found in litosol when combination of biochar – organic fertilizer were treated rather than the single use of biochar 16% and 7% respectively. On mediteran soils, all treatments could decreased the content weight upto 17-26%.

The particle weights could be increased using a combination of biochar - chicken manure. Biochar types would determine for the particle weight alteration. All the treatments applied have not significantly decreased the particle weight and porosity in regosol. The highest particle weight was raised using corncob biochar – dung or crooked biochar – dung in litosol. Moreover, The highest particle weight in mediteran was raised using crooked biochar = dung.

Porosity decline was found in regosol using dung. Treatment using corncob biochar – dung combination increases the porosity of lithosol soil

Macro pore increased almost 3-fold using crooked biochar jengkok – compost combination in mediteran. Macro pore increased 21-24% using rise husk biochar combination or corncob biochar – dung combination in lithosol. However, the macro pore decreased 21% using single-use of dung with in regosol.

Meso pores decline on clay was determined by combination three biochar – organic fertilizer utilization. The highest meso pore decrease was obtained using crooked biochar treated in litosol as well as rise husk and corncob in mediteran. Biochar type determines meso pore alteration especially in clay-textured. Crooked biochar may decrease meso pore 56% from 11.5% to 5.0%. Meso pores decreased respectively 33% and 49% from 17.4% to 11.7% (using corncob biochar) and 8.7% (using rise husk biochar) in lithosol. The use of biochar and organic fertilizer on sandy soil can increase meso pores 28.4% from 9.6% to 13.4%.

7. The utilizatio of biochar and organic fertilizer combination has not been able to increase the micro pore on regosol soil. The largest decrease of micro pore 25% was raised using crooked biochar - compost combination and/or combined with dung in mediteran. The micro pore was reduced 12% using rice husk biochar – dung combination, corncob biochar – dung combination, and crooked biochar – compost combination treated in litosol. Treatment using crooked biochar – compost combination and/or crooked biochar – dung combination could

decrease micro pore 25.4% from 28.3% to 21.1% in mediteran.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declared that present study was performed in absence of any conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENT

Many thanks to the Ministry of Higher Education Technology Research (Kementrian Riset dan Teknologi) which has funded Superior Research of Higher Education in 2017, PT Gudang Garam, tbk who has provided and analyzed biochar jengkok, and PT Bisi International which has provided corn cob waste.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

WDW designed and performed the experiments and also wrote the manuscript. STY designed experiment and reviewed the manuscript. TI performed main material production. HK performed the treatment and data analysis. All authors read and approved the final version.

Copyrights: © 2017 @ author (s).

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY 4.0\)](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

REFERENCES

Ammu, P and S. Anitha (2015). Production and characterisation of biochar from different organic materials. *Journal of Tropical Agriculture*. 53 (2), pp. 191-196.

Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, and Horie T (2009). Biochar amandement techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111, pp. 81–84.

Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Hipps (2010). Potential mechanisms for chieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*. 337, 1–18.

Brady NC and Weill RR (2004). *Elements of the*

Nature and Properties of Soils 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River NJ. pp. 111-112.

Chan KY, Van Zweiten L, Meszaros I, Downie A and Joseph S (2007). Assessing the agronomic values of contrasting char materials on Australian hardsetting soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*. Australia, Terrigal NSW.

Downie A, Crosky A and Munroe P (2009). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management science and technology* Eds. J Lehmann and S Joseph. Earthscan, London. Sterling VA, pp. 13-32.

Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S and Lehmann J (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Journal of Bioresour Technology*. 114, pp. 644-53.

FCO [Fertilizer Control Order] (1985). *Fertilizer Association of India*. New Delhi. p. 202.

Gaskin, J.W., Steiner, C, Harris, K, Das KC, Bibens, B (2008). Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the Asabe*. 51, pp. 2061–2069.

Glaser, B., Johannes, L., Wolfgang, Z (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*. 35, pp. 219–230. Doi 10.1007/s00374-002-0466-4

Kolb TE, Agee JK, Fule PZ, McDowell NG, Pearson K, Sala A and Waring RH (2007). *Perpetuating old ponderosa*

Lehmann, J., da Silva, J.J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, pp. 249:343–357

Manya JJ (2012). Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. *Journal of Environ Sciences Technology*. 46, pp. 7939 – 7954.

Muhammad, AN, Muhammad, K, Muhammad, A, Rashid, A (2014). *Yield And Nutrient Composition Of Biochar Produced From Different Feedstocks At Varying Pyrolytic Temperatures*. *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 51(1), pp. 75-82.

Oguntunde PG, Abiodun BJ, Ajayi AE and Van de Giesen N (2008). *Effects of charcoal*

- production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science*. 171, pp. 591–596.
- Purakayastha, T.J., Pathak, H. and Savita, K (2013). Effect of feedstock on characteristics of biochar and its impact on carbon sequestration in soil. In: *Proceedings of National seminar on current environmental challenges and possible solutions*, 15-16 February 2013, University of Delhi, pp 74-75.
- Sohi SP, Krull E, Lopez CE and Bol R (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Sukartono dan Utomo (2012). Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir semiarid tropis Lombok Utara. *Buana Sains*, vol 12 no1, pp. 91-98.
- Sutono dan N.L. Nurida (2012). Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Buana Sains*, vol 12 no 1, pp. 45-52.
- Suwardji, Sukartono dan W.H.Utomo (2012). Kematapan agregat setelah aplikasi biochar di tanah lempung berpasir pada pertanaman jagung di lahan kering Kabupaten Lombok Utara. *Buana Sains*, vol 12 no 1, pp. 61-68.
- Yu Ok-You.R. Brian and S. Sam (2013). Impact of biochar on the water capacity of loamy sand soil.4:44.<http://www.journal.ijeee.com/content/4/1/44> (di download 24 Mei 2014).

Lampiran 2. Biodata Ketua dan Anggota Tim Pengusul

Biodata Ketua Peneliti

A. IDENTITAS DIRI

1	Nama	:	Dr. Ir. Widowati, MP
2	Jabatan Fungsional	:	Lektor Kepala
3	Jabatan Struktural	:	Dekan Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggadewi
4	NIP	:	19650824 1993022001
5	NIDN	:	0024086506
6	NIRA	:	991110710611822008744
7	Nomor Registrasi Sertifikat Pendidik	:	11107106118220
8	Pangkat/ golongan	:	Pembina Tingkat I/ IV b
9	Tempat & tgl lahir	:	Manokwari, 24 Agustus 1965
10	Alamat rumah	:	Jl. Sasando 182 Malang
11	Nomor Telepon / Faxes	:	0341 – 485606
12	Nomor HP	:	0812 3313660
13	Alamat kantor	:	Jl. Telaga Warna, Tlogomas Malang
14	Nomor Telepon / Faxes	:	0341 – 565500/ 565522
15	Alamat Email	:	widwidowati@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Program	S-1	S-2	S-3
1.	Nama PT	Universitas Brawijaya	Universitas Brawijaya	Universitas Brawijaya
2.	Bidang Ilmu	Tanah	Ilmu Tanaman	Tanah dan Sumberdaya Alam
3.	Tahun Masuk-Lulus	1985-1989	1992-1994	2008-2011
4.	Judul Skripsi/ Tesis/ Disertasi	Pengaruh Penanaman Rumput Gajah secara Strip Diantara Pertanaman Jagung dan Kedelai terhadap Erosi dan limpasan Permukaan	Pengaruh Manipulasi Tajuk Jagung terhadap Pertumbuhan dan Hasil serta Efisiensi Penggunaan air pada Pola tanam Jagung dan Kedelai	Penggunaan Biochar untuk Meningkatkan Efisiensi Pemupukan Nitrogen

5.	Nama Pembimbing /Promotor	Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo	Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo, Prof. Dr. Ir. Bambang Guritno	Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo, Prof. Dr. Ir. Bambang Guritno, Prof. Dr. Ir. Loekito Adi Suhono
----	---------------------------	-------------------------------	--------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------

C. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2012	Pemupukan Kalium dengan Biochar Sampah Organik pada Hasil Jagung (TAHUN I)	PHB-DIKTI	50
2	2013	Pemupukan Kalium dengan Biochar Sampah Organik pada Hasil Jagung (TAHUN II)	PHB-DIKTI	50
3	2014	Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (TAHUN I)	STRANAS-DIKTI	76.5
4	2015	Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (TAHUN II)	STRANAS-Kemenristek-Dikti	85
5	2016	Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (TAHUN III)	STRANAS-Kemenristek-Dikti	85
6	2017	Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering	PUPT-Kemenristek-Dikti	122.5
7	2018	Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering	PTUPT-Kemenristek-Dikti	115

D. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Abdimas	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)
1	2018	Pkm Perbaikan Lahan Kritis Milik Petani Sekitar Wilayah Magersari Melalui Aplikasi Biochar Di Desa Jetak, Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban	Kemenristek-Dikti	40

2	2016	IbM Pengrajin Batu Merah Berbahan Baku Sedimen Bendungan Sengguruh	Kemenristek-Dikti	50
3	2011	Penyusunan Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Pasuruan	Pemkot Pasuruan	35
4	2010	Penyusunan Pedoman Budidaya Tembakau Selopuro di Kabupaten Blitar	Disbun Pemprov Jatim	50

E. PUBLIKASI ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volume/ Nomor
1	2011	Effect of biochar on the Release and Loss of Nitrogen from Urea Fertilization	Journal of Agriculture and Foot Technology, ISSN 2090 – 4223 www.textroad.com	Volume 1, Number 7 July 2011
2	2012	The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of maize (Zea mays L.) in green house experiment.	Journal of Agricultural Sciences, www.ccsenet.org/jas	4 (5) : 255 – 262.
3	2012	Pengaruh Biochar dan Pupuk Kaliun terhadap Serapan Dan Pencucian Kalium	Buana Sains	Vol. 12, No 1 : 83 – 90
4	2013	Aplikasi Biochar dan Dosis Pupuk Kalium pada Pertumbuhan dan Hasil Jagung	Berkala Ilmiah Agroteknologi PLUMULA ISSN : 2089-8010	Vol 2, No 2 Juli 2013, hal 127-137
5	2014	Biochar can enhance potassium fertilization efficiency and economic feasibility of maize cultivation	Journal of Agricultural Science ISSN 1916-9752 E-ISSN 1916-9760 Canadian center of science and education	Vol 6, No2 : 24 – 32
6	2014	Biochar effect on potassium fertilizer and leaching potassium dosage for two corn planting seasons	AGRIVITA Journal of Agricultural Science ISSN: 0126-0537 E-ISSN:2302-6766 www.agrivita.ub.ac.id	Volume 36, Number 1: 65-71
7	2014	The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize	Journal of Degraded and Mining Lands Management. Volume 2, Number 1 (October 2014): 211-218. ISSN: 2339-076X, www.jdmlm.ub.ac.id	Volume 2, Number 1: 211-218 DOI:10.15243/jdmlm.2014.021.211

8	2014	Kelayakan Ekonomi Usahatani Jagung dengan kombinasi aplikasi biochar dan pupuk kalium	SEPA PS Agribisnis UNS ISSN: 1829-9946	Vol. 11, No. 1: 1-7
9	2015	Dekomposisi Dan Mineralisasi Kadar N Bokashi Pupuk Kandang Kotoran Ayam	Buana Sains	Vol 15 no. 2, 189 – 196
10	2016	Utilizing biochar to improve plants result and the availability of N, P, K on degraded soils	AGRIVITA Journal of Agricultural Science ISSN: 0126-0537 E-ISSN:2302-6766	Proses terbit
11	2016	Studi Kelayakan Usaha Pembuatan Bata Merah Berbahan Baku Sedimen Bendungan Sengguruh	Jurnal Akses Pengabdian Indonesia	Vol 1 No 1: 43 – 54
11	2017	Residual Effect Of Potassium Fertilizer And Biochar On Growth And Yield Of Maze In The Second Season	Journal of Degraded and Mining Llands Management, ISSN:2339-076X,e-ISSN:2502-2458	Vol 4, No 4, 2017p
12	2017	Pengaruh Pemberian Pupuk Petroganik Dan Kompos Pada Vertisol Bekas Galian Pembuatan Batu Bata Terhadap Serapan N Serta Pertumbuhan Tanaman Jagung	Buana Sains, vol 17 no.1	Hal 95 – 102
13	2017	The soil organic dynamics from types biochar-organic fertilizers and soil	Paper Konferensi Internasional	Submitted pada jurnal IOP (Nopember 2017)
14	2017	Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types	Bioscience Research	(pISSN: 1811-9506 eISSN 2218-3973), 2017, 14 (4):955-965 10 Des 2017, www.isisn.org
15	2018	Dinamika Nitrogen Selama Inkubasi Biochar dan Pupuk Organik Pada Berbagai Jenis Tanah	Makalah pada seminar nasional	Proses terbit prosiding semnas tgl 21 September 2018
16	2018	Corn Yield Evaluation Of Biochars And Organic Fertilizers Application In Malang District	Spanish Journal of Soil Science	In Review

F. PEMAKALAH SEMINAR ILMIAH (ORAL PRESENTATION) DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Nama Temu Ilmiah/Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	2012	Seminar dan Konggres Nasional X HITI Tanah untuk kehidupan yang berkualitas ISBN 978-602-99713-2-3	Optimasi Dosis Biochar dan Pupuk Nitrogen terhadap Serapan Nitrogen dan Pertumbuhan Tanaman Jagung	30 Nopember 2012, UNS
2	2013	Seminar Hasil Penelitian Dosen UNITRI – Didanai dari Hibah Dana Dikti	Efisiensi Pemupukan Kalium dan Kelayakan Ekonomi Usahatani Jagung dengan Aplikasi Biochar	6 Desember 2013, UNITRI
3	2014	National Workshop on “ <i>Biochar for future food security: Learning from experiences and identifying research priorities</i> ” IRRI Limited Proceedings, No. 18. Los Banos (Philipinaes: International Rice Research Institute, 78 p. ISSN 1607-7776.	Evaluating the effects of biochar on Nitrogen absorption and nitrogen use efficiency in maize (<i>Zea mays</i> L.)	4-5 Februari 2013, Bogor
4	2014	Seminar RAGI “Penguatan Ketahanan Pangan dalam Menghadap Perubahan Iklim” ISBN 978-602-72421-0-4	Respon tanaman jagung terhadap kombinasi dosis dan bahan biochar pada tanah terdegradasi	13 Nopember 2014, UNS
5	2014	Seminar Hasil Penelitian Tahun 2014	Penggunaan Biochar untuk Menekan Pencucian N dan K pada Pertumbuhan Jagung pada Tanah Terdegradasi	18 Juni 2014, UNITRI
6	2015	Seminar Nasional XI Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI), Tanah untuk Kedaulatan Pangan, Air, Energi, Lingkungan	Evaluasi Kesuburan Tanah Dari Tingkat Aplikasi Dan Jenis Biochar Pada Tanah Terdegradasi	29-31 Oktober 2015, UB
7	2015	Seminar Hasil Penelitian tahun 2015	Dampak biochar pada serapan N, ketersediaan N, serta hasil jagung pada tanah terdegradasi	2 September 2015, UNITRI
8	2016	Konggres Asosiasi Biochar dan Seminar Nasional: Pengelolaan dan Peningkatan Kualitas Lahan	Residu Hara Kalium Dan Biochar Pada Hasil Tanaman Jagung	2-3 Mei 2016, Univ. Panca Bhakti-Hotel Best Western,

		Sub Optimal untuk Mendukung Terwujudnya Ketahanan dan Kedaulatan Pangan Nasional (Pemanfaatan Biochar untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Pertanian Berlanjut)	Musim Tanam Kedua	Pontianak. ISBN: 978-602-72935-2-6, hal 161-172
9	2016	Seminar Nasional “Pengembangan Pertanian Berkelanjutan yang Adaptif terhadap Perubahan Iklim Menuju Ketahanan Pangan dan Energi”	Serapan hara dan hasil jagung Dari jenis dan waktu pemupukan NK pasca aplikasi biochar	12 Nopember 2016, Univ Mataram Lombok. ISBN 978-602-1570-43-2, hal 558-570
10	2017	Prosiding seminar nasional dan FGD Pendidikan dan Riset Agroteknologi di Indonesia, Tantangan, Peluang dan Arah Pengembangan Peran Pendidikan Agroteknologi dalam Pengembangan Pertanian 4-5 September 2015, UNPAD	Kombinasi jenis biochar dan perimbangan pupuk NPK Terhadap pertumbuhan dan hasil jagung Pada tanah terdegradasi	ISBN 978-602-439-134-8 halaman 245-253, UNPAD Press
11	2017	Prosiding Seminar nasional FKPTPI 2016	Aplikasi biochar dan pemupukan anorganik pada hasil jagung di tanah lempung berliat	22-23 November 2017. UGM Jogjakarta ISBN 978-979-8678-30-1. Hal 252-259
12	2017	Seminar internasional ORGATROP 2017	The soil organic dynamics from types biochar-organic fertilizers and soil	22 Nopember 2017, UGM Jogjakarta Submit di jurnal Earth Environmental Science (EES)
13	2018	Seminar Nasional Hasil Penelitian VIII Fakultas Pertanian UGM	Dinamika Nitrogen Selama Inkubasi Biochar dan Pupuk Organik Pada Berbagai Jenis Tanah	Proses terbit prosiding semnas tgl 21 September 2018

G. KARYA BUKU DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	Prinsip-prinsip Agronomi dengan	2016	248	Selaras Media

	hasil-hasil penelitian di Indonesia			Kreasindo, Malang
2	Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Biochar	2017	89	CV.IRDH (Research & Publishing) ISBN 978-602-60770-6-6

H. PENGALAMAN PEROLEHAN HKI

No.	Tahun	Jenis/ Tema HKI	Jenis	Nomor P/ID
1	2016	Proses Pembuatan Biochar Sampah Organik	Setifikat Paten	IDP000042877
2	2017	Pembuatan Biochar Sekam Padi Untuk Mengurangi Kehilangan Hara Melalui Pencucian	Paten sederhana	Permohonan paten telah diumumkan 6 Januari 2017 dg nomor publikasi 2017/00053
3	2018	Komposisi Biochar Tongkol Jagung Dan Penggunaannya	Paten sederhana	Lolos proposal UBER HKI dan mengikuti pelatihan pendampingan deskripsi paten di Bogor 19-20 Nopember 2018

I. PENGHARGAAN DAN TANDA JASA

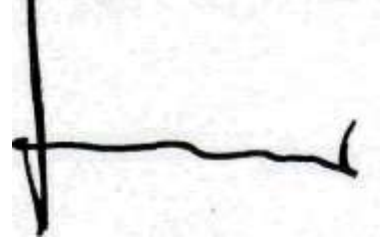
No	Penghargaan	Asal	Waktu
1.	Dosen Teladan UNITRI	Rektor UNITRI	2005
2.	Peneliti Indofood Riset Nugraha	PT Indofood Makmur, Tbk	2007
3.	Pendampng Program Kreativitas Mahasiswa	Rektor UNITRI	2007
4.	Satya Lencanakarya Satya (10 tahun)	Presiden RI	2008
5.	Penyaji Poster terbaik pertama pada Seminar dan Kongres Nasional HITI	Himpunan Ilmu Tanah Indonesia	2011
6.	Peserta terbaik dalam mengikuti pelatihan Pemanfaatan Hasil Penelitian, Pengabdian kepada Masyarakat dan Kreativitas Mahasiswa Berpotensi Paten tahun 2011 sehingga mendapat fasilitasi dalam menyempurnaan draft paten dan pendaftaran paten dengan bantuan dana	Tim HKI DIKTI	2011
7.	Peserta yang diusulkan dari UNITRI untuk mengikuti seleksi dosen berprestasi tk Kopertis Wilayah VII Sby	UNITRI	2012
8.	Satya Lencana Karya Satya (20 th)	Presiden RI	2016

9.	Penyaji Poster terbaik pada Seminar Hasil Program Riset Terapan tahun 2017	Kemenristekdikti	2017
----	----------------------------------------------------------------------------	------------------	------

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam Biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan hibah Proposal Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT).

Malang, 13 Nopember 2018



Dr. Ir. Widowati, MP

Biodata Anggota Tim Peneliti

A. IDENTITAS DIRI

1	Nama Lengkap	Sutoyo, SP., MP.
2	Jenis kelamin	Laki-laki
3	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala
4	NIP	19600702 198508 1 001
5	NIDN	0002076012
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Sidoarjo, 02 Juli 1960
7	Alamat e-mail	untyo@gmail.com
8	Alamat Rumah	Jl. Mergan Veteran No 55 Kota Malang
9	Nomor Telepon/HP	0341- 342 547/ 085 748 776 675
10	Alamat Kantor	Jl. Telaga Warna, Tlogomas Malang
11	Nomor Telepon/Faks	(0341) 565500 / (0341) 565522
12	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1= 24 orang; S-2 = 0 Orang; S-3 = 0 Orang
13	Mata Kuliah yang Diampu	1. Analisis Pertumbuhan Tanaman 2. Biokimia 3. Rancangan Percobaan 4. Statistik

C. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	Program	S-1	S-2	S-3
1	Nama PT	STP Tribhuwana	Univ. Brawijaya	
2	Bidang Ilmu	Ilmu Pertanian	Ilmu Tanaman	
3	Tahun Masuk	1991 – 1995	1996 – 1999	
4	Judul Skripsi/Tesis/Desertasi	Jarak Tanam dan Pupuk Kalium Pengaruhnya Pada Produksi Mentimun	Respon Jagung Hib. Prolifik dan Prolifik Terhadap Populasi dan Pupuk Nitrogen	
5	Nama Pembimbing/Promotor	Dr.Ir.Bambang G	Prof.Dr.Ir. Bambang G.	

D. PENGALAMAN PENELITIAN

N0	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jumlah
1	2007	Pemanfaatan Limbah Ulat Sutera dan Aktivator Biofund Untuk Peningkatan Produksi Tanaman Jagung	DP2M	10
2	2007	Eksplorasi Serangga Yang Berasosiasi Dengan Tanaman Padi (<i>Oryza sativa</i> L.) Sawah	DP2M	10
3	2009	Penampilan Beberapa Varietas Padi (<i>Oryza sativa</i> L.) Pada Model Tanam “Jajar Legowo”	Unitri	5

E. PENGALAMAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber Dana	Jumlah (juta Rp)
1.	2007	Aplikasi Pestisida Nabati SBM (organem) pada Tanaman Bawang Merah (Anggota)	DIKTI	10

F. PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL

No.	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Vol. / Nomor	Nama Jurnal
1	2007	Peningkatan Produksi Padi (<i>Orhyza sativa</i> L.) Var. Cibogo dengan Penambahan Pupuk Organik Cair ‘Nasa’.	Vol. 15 No.6	Journal Agrotek ISSN 0852 – 5426 Terakreditasi No. 026/Dikti/Kep/2005
2	2008	Jenis Serangga dan Statusnya yang Berasosiasi dengan Tanaman Padi Sawah.	Vol. 16 No. 5	Journal Agrotek ISSN 0852 – 5426 Terakreditasi No. 026/Dikti/Kep/2005
3	2009	Pengaruh Pupuk Organik Super Nasa pada Berbagai Dosis dan Frekuensi Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Tomat.	Vol. 9 No. 2	Journal Buana Sains ISSN 1412-1638
4	2010	Dampak Hujan Asam.	Vol. 27 No.3	Journal Agroekologi ISSN 1412 – 100 X
5	2010	Keanekaragaman Hayati Indonesia, Suatu Tinjauan: Masalah dan Pemecahannya.	Vol. 10 No. 2	Journal Buana Sains ISSN 1412-1638
6	2010	Kendala dan Pemecahan Multidormansi Biji Kemiri, Aren dan Palm Jepang.	Vol. 19 No. 3	Journal Agriculture ISSN 1412 – 4262
7	2011	Dampak Perubahan Iklim di Indoensia Pada Pertanian.	Vol. 21 No. 2	Journal Agriculture ISSN 1412 – 4262
8	2011	Masalah dan Peranan CO ₂ pada Produksi Tanaman.	Vol. 11 No. 1	Journal Buana Sains ISSN 1412-1638
9	2011	Fotoperiode dan Pembungaan Tanaman.	Vol. 12 No. 2	Journal Buana Sains ISSN 1412-1638

F. PENGALAMAN PENYAMPAIAN MAKALAH SECARA ORAL PADA PERTEMUAN/ SEMINAR ILMIAH

No	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat

G. PENGALAMAN PENULISAN BUKU

No	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit

H. PENGALAMAN PEROLEHAN HKI

No	Judul/ Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID

I. PENGALAMAN MERUMUSKAN KEBIJAKAN PUBLIK/ REKAYASA SOSIAL LAINYA

No	Judul/ Tema/ Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat

J. PENGHARGAAN YANG PERNAH DIRAIH

No.	Penghargaan	Asal	Waktu
1	Piagam Tanda Kehormatan SATYALANCANA KARYA SATYA 20 TAHUN	Presiden RI	01-08- 2008

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan hibah Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT).

Malang, 12 Nopember 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sutoyo', with a stylized, wavy horizontal line extending from the end.

Sutoyo, SP., MP.

Biodata anggota peneliti

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Hidayati Karamina, SP.,SH., MP
2	Jenis Kelamin	Perempuan
3	Jabatan fungsional	Asisten Ahli
5	NIDN	0704019101
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Malang, 4 Januari 1991
7	E-mail	hidayatikaramina@yahoo.com
8	Nomor Telepon/HP	082245457666
9	Alamat Kantor	Jl. Telaga Warna Blok C, Tlogomas, Malang
10	Nomor Telepon/Faks	0341-565500/0341-565522
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	
12	Mata Kuliah yang Diampu	<ul style="list-style-type: none"> - Dasar ilmu tanah - Manajemen kesuburan tanah - Teknologi pupuk dan pemupukan - Pengelolaan Biomassa II - Pendidikan pancasila - Fisika

B. Riwayat Pendidikan

Pendidikan	S-1	S-1	S-2
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Brawijaya	Universitas Islam Malang	Universitas Brawijaya
Bidang Ilmu	Agroteknologi	Ilmu Hukum	Ilmu Tanaman
Tahun Masuk –	2008-2012	2009-2013	2012-2014
Judul Skripsi/Tesis/ Disertasi	Penggunaan <i>Trichoderma Koningii</i> sebagai pengendali penyakit layu bakteri oleh <i>Ralstonia solanacearum</i> pada budidaya kentang	Faktor-faktor dan prosedur alih fungsi lahan pertanian ke non pertanian (studi kasus kota malang)	Pengaruh fitoremediasi logam berat oleh tanaman orok-orok (<i>Crotalaria</i> sp.) terhadap pertumbuhan lidah buaya

C. Data Pengalaman Penelitian Dalam 7 Tahun Terakhir (Bukan Skripsi, Tesis, Disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jumlah (Juta Rp)

1	2016	Aplikasi pupuk cair organik pada tanaman kentang varietas Granola di Dataran Medium (Ketua)	Hibah UNITRI	3
2	2017	Analisis kandungan logam berat pada buah jambu biji varietas kristal (<i>psidium guajava</i> l.) Dan tanah di desa bumiaji, kota batu (ketua)	DITLITABM AS - DIKTI	20

D. Data Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam 7 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor/Tahun	Nama Jurnal
1	Persyaratan Lahan tanaman Porang	Volume 16, Nomor 1, Maret 2016	Jurnal Buana Sains ISSN 1412-1638
2	Aplikasi pupuk organik cair pada tanaman kentang varietas granola di dataran medium	Volume 15, Nomor 3, Desember 2016	Jurnal KULTIVASI ISSN 1412-4718
3	Jenis Lalat Buah <i>Bactrocera</i> spp. Pada Tanaman jambu Kristal <i>Psidium Guajava</i> Di desa Bumiaji Kota Batu	Volume 16, Nomor 2, Desember 2016	Jurnal BUANA SAINS ISSN 1412-1638
4	Penggunaan Teknologi Fitoremediasi Guna Meningkatkan Pertumbuhan Dan hasil Tanaman Lidah Buaya Varietas Chinensis	Volume 8, Nomor 1, Januari 2017	Jurnal PEMBANGUNAN ALAM LESTARI ISSN 2087-3522

E. PENGALAMAN MENGIKUTI SEMINAR/ PELATIHAN/ WORKSHOP/ LOKAKARYA

No	Judul Kegiatan	Tempat	Waktu
1	Seminar hasil penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2015 (Peserta)	UNITRI	2 September 2015
2	Pelatihan E- Learning (Peserta)	LP3 - UNITRI	2 November 2015
3	Peluang dan tantangan asuransi pertanian indonesia (Panitia)	UNITRI	26 November 2015
4	Lokakarya Penulisan Proposal Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (Peserta)	UNITRI	9 Januari 2016

5	Seminar hasil penelitian dan pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2015 (Peserta)	UNITRI	2 September 2015
6	Pelatihan PEKERTI (Peserta)	Kopertis Wilayah VII Sby	15-19 Februari 2016

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam Biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, Saya sanggup menerima risikonya. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan usulan Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT).

Malang, 5 Desember 2017
Saya, yang membuat,



Hidavati Karamina, SP., SH., MP
NIDN. 0704019101

Lampiran 3. Tabel Isian Luaran

1. Publikasi di Jurnal

Tahun	Jenis Jurnal*	Judul Artikel	Nama Jurnal	P-ISSN	E-ISSN	Vol	Nomor	Halaman (...sd....)	URL	Nama Seluruh Author	NIP Penulis Dosen	Nama Penulis Dosen	Co-Auth or	Nama File PDF Artikel* (dalam lampiran)
2017	Jurnal Internasional	Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types	Bioscience Research	1811-9506	2218-3973	14	4	955	https://www.isisn.org/BR-14-2017/955-965-14(4)2017BR-1544.pdf	Widowati, Sutoyo, Taufik Iskandar, and Hidayati Karamina	196508241993022001	Widowati	Sutoyo, Taufik Iskandar, Hidayati Karamina	ada
2018	Jurnal Internasional	Corn Yield Evaluation Of Biochars And Organic Fertilizers Application In Malang District	Submit pada Spanish Journal Soil Science (17-8-2018)	2253-6574					https://sis.universia.net/author/submission/3716	Widowati, Sutoyo, Hidayati Karamina	196508241993022001	Widowati	Sutoyo, Hidayati Karamina	

*Jenis Jurnal: Jurnal Internasional;;Jurnal Nasional Terakreditasi;Jurnal Nasional Tidak Terakreditasi (Memiliki ISSN)

**Bukti: Scan/PDF halaman pertama artikel yang memuat nama jurnal, volume, tahun, judul artikel, nama penulis, dan abstrak

2. Pemakalah Forum Ilmiah

Tahun Kegiatan	Tingkat Forum Ilmiah*	NIP Pemakalah Dosen	Nama Pemakalah Dosen	Nama Seluruh Penulis	Judul Makalah	Nama Forum	Institusi Penyelenggara	Waktu Pelaksanaan (...s.d...)	Tempat Pelaksanaan	ISBN	Status	Nama File PDF Artikel*
2017	Internasional	196508241993022001	Widowati	Widowati, Sutoyo, Taufik Iskandar, and Hidayati Karamina	The Soil Organic Dynamics From Types Biochar-Organic Fertilizer s And	Konferensi Internasional ORGANIC AGRICULTURE	UGM	21 Agustus 2017 - 24-	UGM	-		

7. Buku

NIP Dosen	Nama Penulis Dosen	Tahun Penerbitan	Jenis Buku*	Judul Buku	ISBN	Jumlah Halaman	Penerbit	Nama File Dokumen Pendukung (dilampirkan)**

*Jenis Buku: Buku Ajar;Buku Teks;Modul;Panduan Praktis;Buku Profil Daerah;Buku Profil Usaha;Katalog Kegiatan Seni;Novel;Kumpulan Puisi atau Cerpen;Buku Saku;Kamus;Monograf;Biografi;Tafsir;Atlas;Ensiklopedia;Lain-Lain

**Bukti: Scan cover buku

Lampiran 4. Artikel Ilmiah



Corn Yield Evaluation Of Biochars And Organic Fertilizers Application In Malang District

Widowati, Sutoyo, Hidayati Karamina
Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang, Indonesia
Jalan Telaga Warna Blok C, No. 1 Tlogomas Malang, East Java, Indonesia
Post Code : 65144
Telp. +62341565500
widwidowati@gmail.com

Abstract

Appropriate types of biochar and organic fertilizer is a necessity to optimize dry land and increase crop yield. By this fact, pot experiment was carried out to evaluate the effect of biochar and organic fertilizer on the growth and corn yield on dry soil in Malang Regency. Alfisol, Entisol, and litosol, three types which tends to infertile and low productivity, applied by biochar (corn cob, rice husk, tobacco industry byproduct) and organic fertilizers (compost and chicken manure) both singly and combination. Both of them used as much 300 g pot⁻¹ (singly) and 150 g pot⁻¹ (combination) into 9 kg dry soil. 135 kg N ha⁻¹, 100 kg P₂O₅ ha⁻¹, 110 kg K₂O ha⁻¹ was added in each treatments includes control, replied three times, and analysed by nested design. The results showed that biochar and organic fertilizer applied to Alfisol and Litosol had significant effects on plant growth and yield. Both singly and combination of biochar applied in Entisol had no significant effect on corn yield. Application of biochar-corn cob and manure in combination is better than the singly in Alfisol. Meanwhile, manure and rice husk given better result on growth and corn yield applied both singly and combination in Litosol. The best corn yield was obtained from N, P, K in balanced proportion after manure and biochar was applied in Alfisol and Litosol.

Keywords : growth and corn yield evaluation, biochar, organic fertilizers

INTRODUCTION

Dry land occupy the largest area after wetlands in the southern part of Malang Regency. Some land comes from chief material which has not undergone a perfect weathering process and may effect on low productivity. Therefore, it offer limited function for agricultural areas. According to the Agriculture and Plantation Agency, a most of the part in Malang Regency functioned as agricultural areas, which is rice field is around 15.44% (49.52 ha); fields / gardens is 31.11% (99.76 ha); plantation area is 6.11% (19.58 ha); and forests are 2.56% (6.40 ha). Potential which store in dry land needs to optimized because of limited infertile land and most of it is sub-optimal land. Dry land ranked the extensive area is 122.1 million ha consisting of 108.8 million ha of dry land and dry climate-land of 13.3 million ha (Mulyani and Sarwani, 2013).

The problems which may affect soil fertility in dry land are soil acidity, availability of water, low nutrients, physical conditions which not support for plant growth, and imbalance between water and air. Its will be a limiting factor may interfere the optimum state and affect into low plant-productivity. The ability of the soil to retain water and nutrients is a priority to increase crop yields. Haryono (2013) explained that optimization of sub-optimal land includes productivity, production efficiency, sustainability of resources and environment as well as farmers' welfare through intensification and extensification of degraded or abandoned sub-optimal land.

Management of dry land by biochar use has been popular in the past decade, despite an organic matter was often been carried out. Importantly, aromatic structure on biochar carbon is more stable than carbon in native biomass which may reduce decomposition rate of organic matter. The use of mulch, compost, manure could increase soil fertility, but even in tropical conditions, it is mineralized quickly (Tiessen *et al.*, 1994). Steiner *et al.*, (2007) suggested, soil organic matter (SOM) is substantial for fertility because it contains 95% of total nitrogen and sulfur along with 20-75% of phosphorus in the soil, which is vital nutrients for microorganisms and plants. Biochar is a carbon-rich product obtained by heating biomass in a closed system under a limited supply of oxygen intended as a soil amendment to absorb carbon and improve soil quality. Biomass conversion into biochar and using it as an amendment to the soil as an alternative to enrich the soil beside compost (Srinivasarao *et al.*, 2013). Agronomic effects by biochar addition have been found at various latitudes which low soil fertility (Biederman and Harpole, 2013; Liu *et al.*, 2013).

The application of biochar also increases groundwater storage (Reverchon *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2016) which is increase in soil capillary of water capacity and may affect to upgrade the crop cultivation productivity, microbial activity, and would be store a higher level of nutrient availability, especially P and K (Biedermann and Harpole, 2013). Groundwater holding capacity (WHC) and available water (AW) would be increase in clay and sandy clay soil (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2014). WHC increases 11% by applying biochar (9 t ha⁻¹) in dusty clay, Southern Finland (Karhu *et al.*, 2011). AW improvement obtained due to biochar addition by improve porous structures (both micro and meso pores) and soil aggregation (Obia *et al.*, 2016). Soil chemical properties are also improved such as increasing soil pH (higher Ca / Al ratio and availability of PO₄⁻³ and increased base saturation) (Martinsen *et al.*, 2015); increase nutrient retention capacity and soil CEC (Chan *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2006) and thereby reduce nutrient leaching (Hale *et al.*, 2013; Martinsen *et al.*, 2014).

Each type of soil has different properties and characteristics such as the surface area of soil particles may greatly affect to hold water and nutrients capacity. Each type of biochar also contain different properties based on the production conditions and raw materials used. Naeem *et al.*, (2014) reported variations in pyrolytic temperature and raw materials would affect the yield and composition of biochar nutrients. Almost every organic material can be converted into biochar, but the character of each organic material would have an effect on the physical, chemical and biological properties of the soil after being put into the soil. The need for appropriate types of biochar and organic fertilizer is an attempt to optimize dry land as well increase crop productivity in dry soil. The research hypothesis is that each type of soil responds differently to various types of biochar and organic fertilizer on dry land. The aim of the study was to evaluate the effect of various biochar and organic fertilizer on growth and yield of corn on soil types in dry land of Malang Regency.

METHODS

Soil research and biochar production

Three types of soil from the southern Malang Regency, wherein Litosol types, Entisol Order from Purwodadi Village, Donomulyo Subdistrict, located at 112 ° 23'30 " - 112 ° 29'64" BT and 8 ° 16'75 " - 8 ° 19'81 "LS. Red Yellow Mediterranean Land Afisol Order from Kalipare District is located 21,950 - 29,610 BT and 9,400 - 16,480 LS. Tanah Regosol, Entisol Order from Poncokusumo Subdistrict, is approximately 24 km away from the district capital. Composite soil were samples at 0-30 cm depth from dry land and used in pot experiments in Malang Municipality.

Three types of biochar from biomass (rice husk and corncobs) were produced at 350-500°C for 4 hours by fixed-bed pyrolysis equipment at the Bioenergy Laboratory of Tribhuwana Tungadewi University. Biochar from tobacco industry waste is produced at 700°C for 15 minutes at PT. Gudang Garam, Tbk by Etia's extrusion pyrolysis tool. Dry rice husk obtained from commercial rice mills, on the other hand for dry corncobs from PT. Bisi International Kediri. Biochar corncobs were milled in size of < 2 mm, biochar from tobacco industry waste (jengkok) and rice husks are directly applied to the soil. Compost (city waste) and chicken manure (pukan) were used as organic fertilizer. Compost was taken from the Integrated Waste Processing Site (TPST) in Mulyoagung Village, Dau District, Malang Regency. The feed is taken from the farm of PT. Java Comfeed in Malang Regency.

Experimental Design

Nested design was carried out in this study. The first factor is the type of soil and the second is organic biochar which is nested in the first factor. The first factor includes three types of soil; Alfisol, Litosol, and Entisol. The second factor includes 12 treatments, which are: 1. Control, 2. Biochar corncob (T), 3. Biochar rice husk (S), 4. Biochar jengkok tobacco (J), 5. Compost (K), 6. Pile (A), 7. Biochar corncobs-compost (TK), 8. Biochar corn cobs (TA), 9. Biochar rice-compost husks (SK), 10. Biochar rice husks (SA), 11. Biochar jengkok tobacco-compost (JK), 12. Biochar jengkok tobacco-pukan (JA). Each treatment was repeated 3 times and 8 sample plants were provided with total experiment 864 polybags. Polybags are placed randomly at each replication with a distance of 80 x 25 cm between polybags. Biochar and organic fertilizer are applied at a dose of 300 g pot⁻¹ (single) and 150 g pot⁻¹ (combination) on 9 kg of soil. Planting Pertiwi variety 3 hybrid corn after biochar and 7 days organic fertilizer incubation. Fertilization of 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ was given one day before planting, but 110 kg K₂O ha⁻¹ and 135 kg N ha⁻¹ were given when the plants were in 7 HST (1/3 dose) and 28 HST (2/3 doses). Observation of plant-height, leaf area, leaf dry weight and total plants (biomass) was observed at the end of maximum vegetative growth, ie 56 HST as many as 2 sample plants. Biomass above-ground plants obtained by weighing plants which have been dried in oven at 70°C for 2 x 24 hours. Production observations include dry shelled corn. Harvesting within physiologically has done at the age of 112 HST, which total 3 samples. Plant growth analysis was carried out to determine the response of plants to in soil environment alteration, consisting of Leaf Area Index (ILD) and Specific Leaf Area (SLA). ILD was obtained from calculating the amount of leaf area per unit of land area (planting distance). SLA reflects the efficiency of leaf area formation per unit of carbohydrates stored. SLA was obtained from the results for leaf area with leaf weight (cm² g⁻¹) (data on leaf area and leaf weight were not shown). Initial soil samples and biochar and organic fertilizer characteristics were analyzed at PT Sucofindo Surabaya and PT Gudang Garam, Tbk Gempol Pasuruan. N, P, K soil levels were observed after 7 HST incubation and analyzed in the University of Brawijaya Laboratory of Soil.

SPSS version 13.0 were used to analysed the data. Analysis of variance according to the design used and followed by DMRT Test with $\alpha = 5\%$ to obtain differences between treatments.

RESULT AND DISCUSSION

Characteristics of biochar, organic fertilizer, and initial soil

Raw materials are the main factors given the influence the characteristics of biochar. The levels of N, K, Ca, Mg, and Na from biochar-jengkok tobacco give the greatest result compare from corncob and rice husks. On the other hands total C and KTK from biochar corncobs are greater than biochar jengkok bigger than biochar husks. The levels of organic N, P, and C from the feed given significant yield than compost. KTK-Compost is greater than manure (Table 1). The presence of N-element depends on the high content of organic matter on the soil. Litosol soil fertility rate is better than Alfisol, although both types are clay textured, in contrast to Entisol which has clay sand texture (Table 1).

Table 1. Characteristics of biochar and organic fertilizer and initial soil

Parameter	Characteristics of biochar and organic fertilizer					Characteristic of Soil		
	Biochar -rice huski	Biochar corn cob	Biochar jengkok tobacco	Chicken manure	compost	Litoso 1	Alfisol	Entisol
Total C (%)	29,8	45,6	40					
C organik (%)				25,02	15,58	1,36	0,72	0,48
pH H ₂ O						6,4	5,3	5,6
pH KCl 1N						6,1	5	5,3
C/N						8	7	7
Ec (mili siemens)	2,56	4,67	16,45	12,65	1,31			
KTK cmol (+) /kg	19,53	40,12	34,62					
KTK me/100g				37,78	59,03	32,68	30,43	12,4
Abu (%) (Ash)	53,4	23,6	32,8					
N (%)	0,57	0,84	1,83	4,05	2,6	0,17	0,1	0,07
P (%)	0,14	0,46	0,44	11,62	3,87			
P (mg kg ⁻¹)						45,65	45,65	10,52
K (%)	1,71	3,96	5,15	0,29	0,04			
K (me/100g)						0,35	0,34	0,36
S, SO ₄ (%)	0,22	0,41	0,42	0,36	0,29			
Na (%)	0,33	1,63	1,83	1,81	1,77			
Na (me 100g ⁻¹)						0,37	0,37	0,31
Ca (%)	0,92	2,45	3,88	1,69	1,94			
Ca (me 100g ⁻¹)						25,83	12,44	5,14
Mg (%)	0,03	0,28	0,36	0,35	0,44			
Mg (me 100g ⁻¹)						1,42	4,73	0,79
Mn (%)	0,08	0,03	0,04	0,04	0,04			
Total base (me 100g ⁻¹)						27,97	17,88	6,6
KB (%)						86	59	53
Sand (%)						11	9	86
Ash (%)						24	15	3
Clay (%)						65	76	11
Texture						Clay	Clay	Clay sand

Analyzed at PT Sucofindo Surabaya, PT. Gudang Garam, head of Gempol Pasuruan, and University of Brawijaya Malang.

The application of biochar and organic fertilizer has significant impact on the growth and corn yield in three types of soil. The results of analysis showed sig (0.000) < α (= 0.05), indicate that soil type had a significant effect on plant height, plant biomass, ILD, and dry shelled corn. Biochar and organic fertilizer in each soil type did not significantly influence for plant height either for biomass but affected into ILD, SLA, dry shelled corn.

The results of biochar and organic fertilizer experiments into Entisol and Litosol each showed $\text{sig } (0.000) < \alpha (=0.05)$, indicate that each biochar, organic fertilizer, Entisol and Litosol significantly interplay. However, at Alfisol, biochar and organic fertilizer have a significant effect on plant height, ILD, dry shelled corn (Table 2). The results of the DMRT test on each soil are presented in Figures 1 - 5.

Table 2. Results of nested design analysis

Variable observations	Nilai signifikan				
	Soil type	Biochar and organic fertilizer on soil type	Biochar and organic fertilizer in Alfisol	Biochar and organic fertilizer in Entisol	Biochar and organic fertilizer in Litosol
Plant height	$(0.000) < \alpha(=0.05)$	$0.058 > \alpha(=0.05)$	$(0.000) < \alpha(=0.05)$	$(0.000) < \alpha(=0.05)$	$(0.000) < \alpha(=0.05)$
BK biomass	$0.010 < \alpha(=0.05)$	$0.079 > \alpha(=0.05)$	$0.152 > \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$
ILD	$0.028 < \alpha(=0.05)$	$0.0000 < \alpha(=0.05)$	$0.001 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$
SLA	$0.610 > \alpha(=0.05)$	$0.045 < \alpha(=0.05)$	$0.111 > \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$
BK dry shelled corn	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$	$0.000 < \alpha(=0.05)$

Plant Growth

Plant Height

The effect of treatment on plant height is presented in Figure 1. In general, application biochar and organic fertilizer would increase plant height in all three types of soil. Combination of biochar and organic fertilizer shows better in plant height than single application. Plant height was significantly increased by TA treatment which neither significantly different from JA in Alfisol Litosol. Biochar and organic fertilizers contain several important plant nutrients (Table 2) which may affect on plant growth and yield. This study are in line with the results of the incubation study on the characterization of biochar and organic fertilizer types on the physical properties in several soil types (Widowati *et al.*, 2017). Improvement of physical properties of clay were recommended to use a combination of biochar types with organic fertilizer. It was further reported that the combination of biochar cobs with mortar on Litosol increased macro porosity and pores by 14% and 21-24%, respectively.

Combination of biochar jengkok and compost increases the porosity and macro pores of Alfisol by 21% and 64%, besides the micro pore decreases by 25.4% from 28.3% to 21.1%. Biochar jengkok can reduce Litosol meso pore by 56% from 11.5% to 5.0%. Meso pores decreased by 33% and 49% respectively from 17.4% to 11.7% (biochar -corncob) and 8.7% (rice husk biochar) in Alfisol. Micro pores are reduced by 12% from combination of biochar rise husks-manure and by biochar corncobs-manure, and the combination of biochar is bent with compost on litosol. In contrast to clay, the application of pile (A) produces the best plant height in Entisol. As reported by Widowati *et al.*, (2017), macro pore decreases by 21% with only a pile on Entisol.

Asai *et al.*, (2009) stated that biochar given higher porosity and could store water in pores, thus could maintaining water balance and give availability of nutrients. Increased of soil porosity on the surface area could given great penetration into the soil. Biochar surface area and porosity have significant potential in water holding capacity, adsorption capacity (the ability of particles to remain on the surface of biochar) and nutrient retention capabilities (Sohi *et al.*, 2010). The addition of biochar also significantly increases the available water content in the soil by increasing the amount of water retained in the soil (field water capacity) and allowing plants to attract soil moisture and reduce it before wilting (Koide *et al.*, 2015).

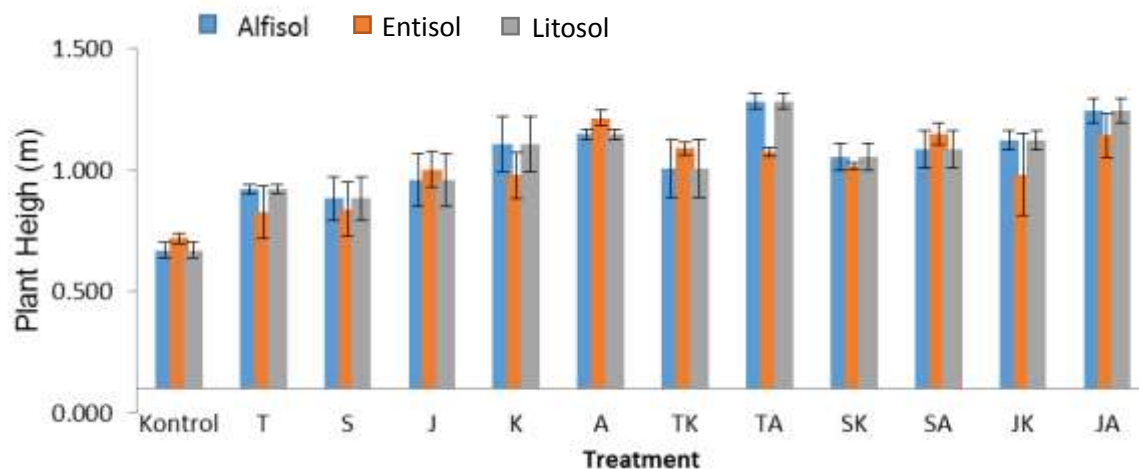


Figure 1. Effect of biochar and organic fertilizer on plant height on Alfisol, Entisol, and Litosol

Plant Biomass

Plant biomass is a photosynthetic net result which is shown as a dry material from plant organs in certainly time. Total dry weight of plants was harvested as soon as the plants appear female flowers which is sign that the plant comes to maximum vegetative growth phase in the corn plant. Plant dry biomass increased by giving biochar and organic fertilizer to the three soil types, namely 1.7 t ha⁻¹ to 2.2 - 3.9 t ha⁻¹ (Alfisol); 1.8 t ha⁻¹ to 2.8 - 4.7 t ha⁻¹ (Entisol); and 0.7 t ha⁻¹ to 2.2 - 5.1 t ha⁻¹ (Litosol). Most of the biochar and organic fertilizer showed an increase in relatively similar biomass in Alfisol and Entisol. Plant biomass was significantly increased in JA treatment (Litosol) which was not significantly different from treatment A (Entisol). The application of jengkok combination biochar shows the highest biomass compared to a single application on Litosol, which is 5.1 t ha⁻¹ (JA); 2.9 t ha⁻¹ (J); and 4.5 t ha⁻¹ (A). The production of plant biomass was low when only biochar jengkok singly but it increases by 76% when combined with manure. Manure has contributed nutrients (especially N and P) needed to increase biomass production in Litosol. Biochar jengkok has higher levels of N, K and Ca than other biochar (Table 2).

Biomass production has increased by applied the combination of biochar jengkok and manure. This combination given mutual synergy to increase corn plant production in Litosol. The great effect of biochar jengkok and manure combination may causes greater production than the single use of Litosol. Report form Ardakani et al. (2017) also described that biochar has a synergistic effect when applied in combination with mineral fertilizers or various types of compost. The effect of treatment on plant biomass on Litosol is different on Alfisol and Entisol. Biomass production is relatively the same from the application of the three types of biochar singly or combination with organic fertilizers in Entisol and Alfisol.

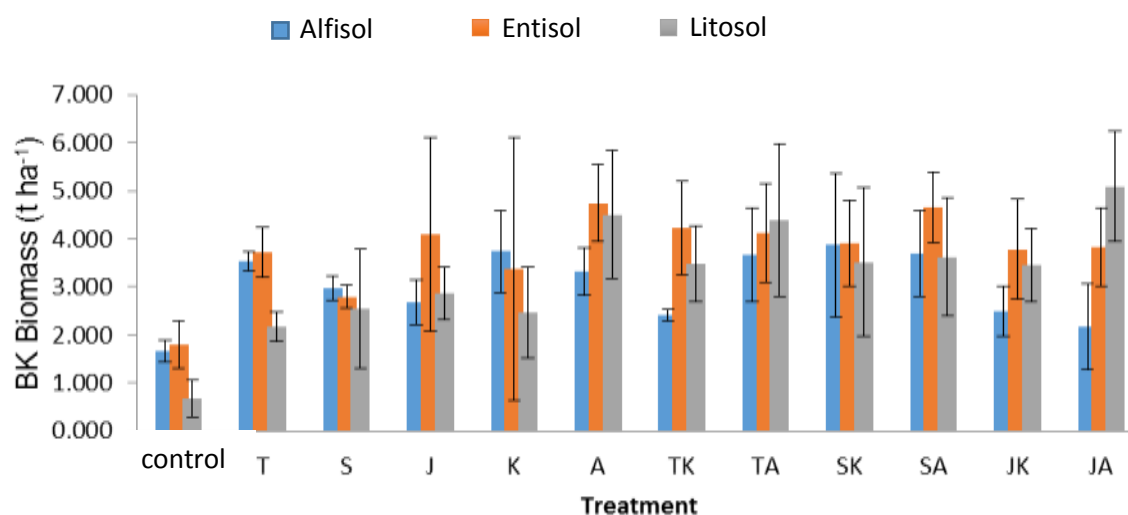


Figure 2. Effect of biochar and organic fertilizer on biomass on Alfisol, Entisol, and Litosol

Plant Growth Analysis

Leaf area index (ILD)

Leaf area states the amount of surface which could photosynthesize or contain chlorophyll. ILD shows the comparison of total leaf area with land covered by leaf itself. By applying biochar and organic fertilizer in each soil type, ILD increases 0.9 to 1.1 - 1.9 (Alfisol); 1.2 to 1.5 - 2.1 (Entisol); and 0.5 to 1.1 - 2.3 (Litosol) at maximum vegetative growth. In Alfisol, SK treatment was not significantly different from TA, while the highest given from JA treatment applied in Entisol and Litosol (Figure 3). This means that leaves above 1 m² found as large as 1.9 m² (Alfisol); 2.1 m² (Entisol); and 2.3 m² (Litosol). Value of ILD > 1 illustrates the presence of mutual shade which causes leaves below lack of photosynthesis rate (Sitompul and Bambang, 1995). It seems that ILD value are in line with plant height and biomass production in Alfisol, Litosol and Entisol. Plant biomass comes from nutrients and water uptake during photosynthesis especially Nitrogen supplied (Table 2).

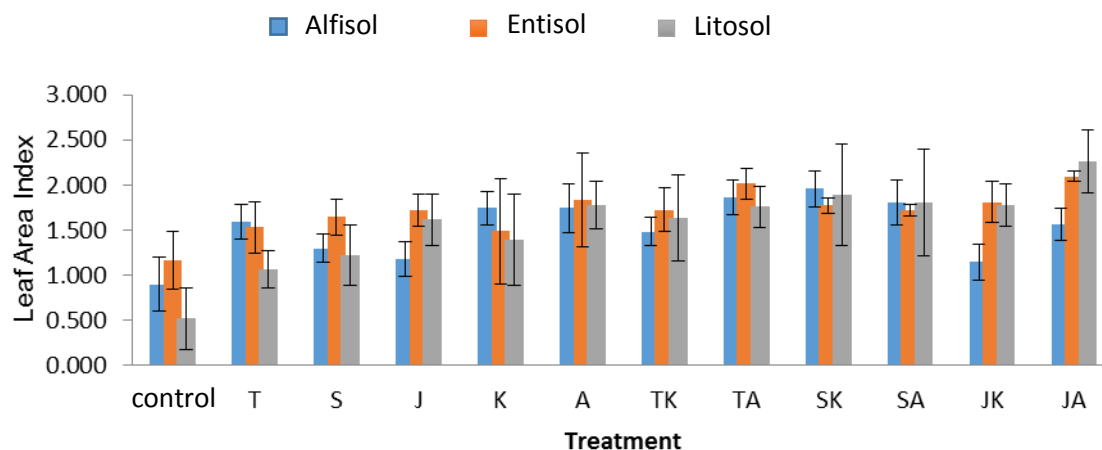


Figure 3. Effect of biochar and organic fertilizer on Leaf Area Index on Alfisol, Entisol, and Litosol

Specific Leaf Area

Specific leaf area illustrates the leaves thickness due to the distribution of carbohydrates. Specific leaf area on corn plants tended to be same in all treatments, is 95-142 cm² g⁻¹ (Alfisol); 89 - 159 cm² g⁻¹ (Entisol); and 70 - 195 cm² g⁻¹ (Litosol). Except for biochar husk combined with manure (SA) on Alfisol; compost (SK) combined biochar husk on Entisol; and biochar cobs combined with feed (TA) on Litosol showed the highest specific leaf area, each of 187 cm² g⁻¹ (Alfisol); 171 cm² g⁻¹ (Entisol); and 224 cm² g⁻¹ (Litosol) (Figure 4). The specific leaf area was significantly increased by combination of biochar with organic fertilizer in the three soil types. Comparison of combination and singly application to single treatment in the three soil types, namely 187 cm² g⁻¹ (SA); 107 cm² g⁻¹ (S); and 124 cm² g⁻¹ (A) in Alfisol; 171 cm² g⁻¹ (SK); 102 cm² g⁻¹ (S); and 89 cm² g⁻¹ (K) in Entisol; and 224 cm² g⁻¹ (TA); 129 cm² g⁻¹ (T); and 124 cm² g⁻¹ (A) on Litosol. This means that formation of dry leaf area per unit allocated in maximum vegetative growth. Its caused by carbohydrates for leaf growth lower than the rate of use for leaf formation. Enlargement and cell division of corn plant actively at the maximum vegetative growth

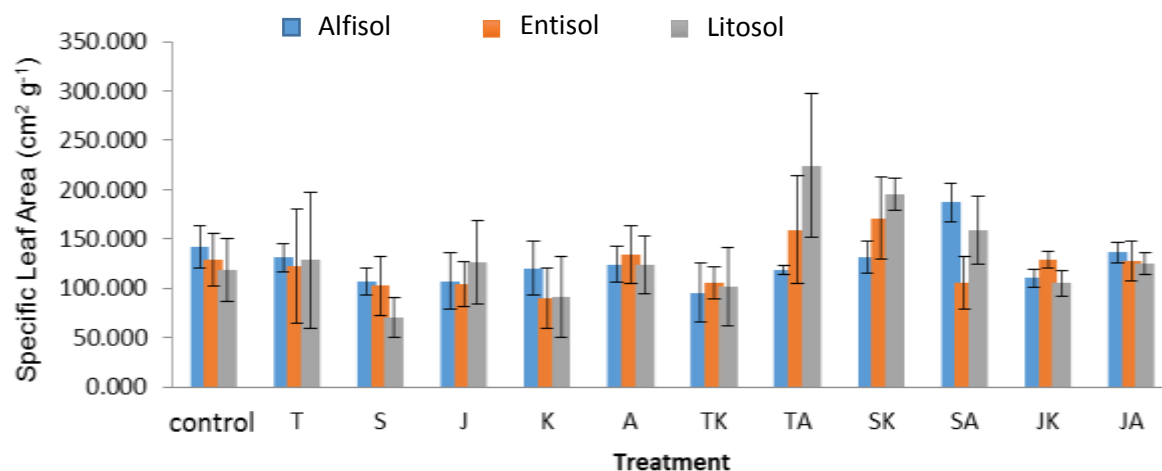


Figure 4. Effect of biochar and organic fertilizer on Specific Leaf Area on Alfisol, Entisol, and Litosol

Shelled Corn Yield

Utilization of biochar and organic fertilizers improves the corn yield is 3.2 to 5.0 - 8.4 t/ha (Alfisol); 3,4 to 6 - 8,0 t ha⁻¹ (Entisol); and 4.3 to 7.8 - 10.5 t ha⁻¹ (Litosol). Great results in Alfisol and Litosol are from different types of biochar and organic fertilizers, which are biochar corncob-manure combination in Alfisol and biochar rise husk – manure in Litosol. Corn yield at TA temperature was not different from A is 8.4 t ha⁻¹ and 7.8 t ha⁻¹ respectively, at Alfisol. N, P, K levels of soil were expanded by application of corncob and manure on Alfisol (Table 3). Meanwhile, T treatment is 5.8 t/ha. It seems corn yield from Aq and A is not appropriate with the age at SA and JA treatment which obtained high levels of N, P, K in Alfisol. Corn yield was increased by 7.7% (compared to treatment A) and 44.8% (compared to treatment T) in Alfisol. Corncob and manure combination seems contributed on growth and corn yield in Alfisol, especially for organic materia. Ouyang *et al.* (2014) found that biochar applications increase soil enzyme activity, nutrients, dissolved organic-C and microbial activity. According to Phares *et al.*, (2017), a single biochar application or biochar combined with poultry manure increases availability of P, CEC, and the amount of organic carbon.

Despite both types of Alfisol and Litosol are clay, they show different responses to growth and yield affect by organic-C content. The amount of organic-C from Litosol is two times higher than Alfisol, which are 1.36% and 0.72%, respectively. In facy, plants respond to biochar depending on the chemical and physical properties of biochar, climatic conditions, soil conditions and plant types (Zwieten *et al.*, 2010; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). In Litosol, the best corn yield comes from SA treatment (10.5 t ha⁻¹),has not significantly different from A, TA, JA treatment within an average of 9.8 t/ha. Manure has higher levels of N and P than compost (Table 2) which is important to increase growth and corn yield. According to Situmeang (2017), 10.52 t ha⁻¹ biochar dose combined with compost and phonska gave the highest corn yield kernels 13.71 t ha⁻¹, increased by 106.67% compared to treatments without biochar, compost, and phonska based on the highest value of Relative Agronomy (RAE) (113.99%) that very effective for corn cultivation on dry land.

Application various biochar and organic fertilizer could be increase corn-seeds yield on sandy loam (Entisol). Combination of biochar and organic fertilizers showed the same corn yield on Entisol (Figure 5). Basically, Entisols have the lowest levels of organic carbon and the highest percentage of sand compared to other soil types. Widowati *et al.* (2017) reported that the use of biochar and organic fertilizer in sandy clay soils could increase meso pores 28.4% from 9.6% to 13.4%. The results of this study are in line with the application of biochar in sandy loam soils in North Lombok, conveyed that biochar applications contribute to soil physical-chemical properties, nutrient and groundwater retention, CEC so that corn yields show a positive response (Sukartono *et al.*, 2012).

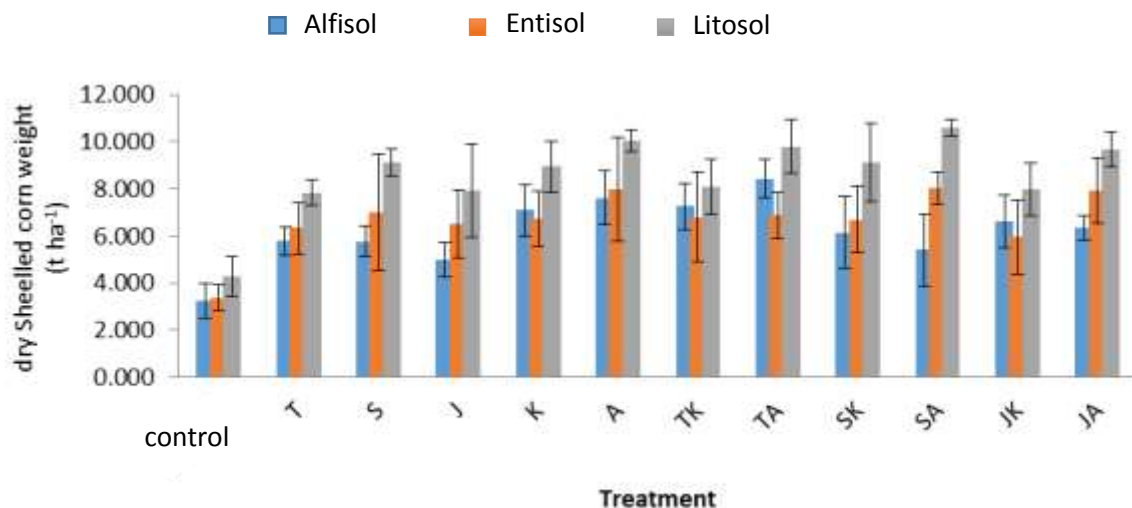


Figure 5. Effect of biochar and organic fertilizer on dry shelled corn on Alfisol, Entisol, and Litosol

N, P, K levels of soil after incubation

In general, N, P, K levels were increased after biochar and organic fertilizers (single or combination) were applied to the three soil types. The treatment has a significant effect on N levels. The sig value (0.000) < α (= 0.05) indicate the organic biochars in each soil type significantly influence the levels of N, P, K. Organic biochar in Alfisol soil types shows the value of sig (0.000) < α (= 0.05) while in Litosol the value of sig (0.013)

$<\alpha$ ($= 0.05$) which is show significant effect on N levels. Different with Entisol which shows the sig value ($0.098 > \alpha$ ($= 0.05$)), that has no significant effect on N levels. N levels seems increase by organic-biochar addition. The N content of combination treatment is better than the single in Alfisol, ie from 0.18% (T) to 0.21% (TK) and 0.24% (TA); from 0.17% (S) to 0.28 (SK) and 0.22% (SA); from 0.19% to 0.33 (JK) and 0.32% (JA). The highest level of N in Alfisol generated from biochar jengkok-manure or jengkok compost combination. The best N content in Entisol with biochar application was curved but tended to be the same in Litosol (Table 3).

Table 3. Soil N levels after 7 HST incubation

Treatment	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Average	St dev		Average	St dev		Average	St dev	
Control	0.081	± 0.001	a	0.029	± 0.001	a	0.105	± 0.005	a
T	0.177	± 0.020	d	0.035	± 0.008	a	0.167	± 0.027	b
S	0.170	± 0.024	c	0.028	± 0.001	a	0.177	± 0.009	b
J	0.191	± 0.018	e	0.082	± 0.008	b	0.177	± 0.001	b
K	0.163	± 0.053	b	0.061	± 0.008	ab	0.170	± 0.027	b
A	0.244	± 0.006	ef	0.071	± 0.001	ab	0.156	± 0.012	b
TK	0.206	± 0.037	e	0.067	± 0.010	ab	0.161	± 0.004	b
TA	0.235	± 0.006	ef	0.061	± 0.001	ab	0.161	± 0.017	b
SK	0.276	± 0.081	f	0.059	± 0.009	ab	0.181	± 0.017	b
SA	0.223	± 0.005	e	0.034	± 0.004	a	0.191	± 0.017	b
JK	0.326	± 0.066	g	0.066	± 0.002	ab	0.196	± 0.043	b
JA	0.320	± 0.048	g	0.080	± 0.001	ab	0.189	± 0.031	b

* Different notations show differences between types of organic biochar in each type of soil.

P levels were increased while applied manure, especially on biochar-manure combination (Table 4). P content in Entisol by manure application amounted to 93.01 mg kg^{-1} (A), moderate to COC (T), husk (S), and bent (J) 28.46 mg kg^{-1} ; 15.92 mg kg^{-1} ; 23.75 mg kg^{-1} . However, biochar and manure combination could increased upto 71.62 mg kg^{-1} (TA); 39.67 mg kg^{-1} (SA); and 81.06 mg kg^{-1} (JA). Likewise P content in Alfisol with manure application was 124.91 (A), moderate to COB (T), husk (S), and bent (J) were 43.76 mg kg^{-1} , respectively; 46.83 mg kg^{-1} ; 50.23 mg kg^{-1} . Combination of biochar and manure increases P levels to $114.11 \text{ mg kg}^{-1}$ (TA); $130.90 \text{ mg kg}^{-1}$ (SA); and $109.43 \text{ mg kg}^{-1}$ (JA). Enhancement of P levels showed after biochar-manure application on the three types soil (Table 3). However, P content on Litosol was not as much as Entisol and Alfisol, which is 13% (corn cob biochar); 14% (husk biochar); and 4% (jengkok biochar). By applying combination of biochar-manure could increases P content, which is 152% (corn cob biochar); 149% (husk biochar); and 241% (jengkok biochar) on Entisol and 161% (corn cob biochar); 180% (husk biochar); and 179% (jengkok biochar) in Alfisol compared to singly applications. Synergistic effect of manure and biochar on increasing P levels from the three soil types. P levels from manure (11.62%) contributed to the added P nutrients from husk biochar (0.14%); corn cob biochar (0.46%); and 0.44% (jengkok biochar).

Table 4. Soil P levels after 7 HST incubation

Treatment	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Average	Stdev		Average	Stdev		Rata-rata	Stdev	
Kontrol	7.057	±0.423	a	10.700	±0.790	a	6.975	±2.415	a
T	43.762	±8.881	b	28.458	±8.594	ab	49.294	±19.900	cd
S	46.829	±12.269	bc	15.925	±0.372	a	40.475	±12.033	bcd
J	50.234	±7.659	bcd	23.748	±2.505	ab	48.133	±12.484	cd
K	67.950	±14.311	d	21.582	±1.257	a	49.013	±10.019	cd
A	124.911	±14.411	ef	93.010	±8.604	d	49.210	±0.969	cd
TK	62.153	±20.503	cd	24.254	±4.432	ab	27.483	±8.772	b
TA	114.114	±13.716	ef	71.618	±11.076	c	56.275	±15.516	d
SK	57.935	±12.580	bcd	27.489	±2.316	ab	36.111	±6.027	b
SA	130.896	±2.026	f	39.667	±2.376	b	45.565	±2.935	bcd
JK	69.154	±14.562	d	34.141	±5.099	b	43.597	±0.737	bcd
JA	109.430	±21.670	e	81.063	±1.947	cd	49.943	±10.937	cd

K levels increased after biochar and organic fertilizer addition on three soil types (Table 5). Utilization of corncob biochar increased the highest levels of K in Entisol and Litosol, each from an average of 0.9 - 1.9 to 2.7 me 100 g⁻¹ (Entisol) and 0.4 -1.1 to 4.3 me 100 g⁻¹ (Litosol). Levels of K in Alfisol increased on average from 3.3 to 4.9 me 100 g⁻¹ compared to 1.6 me 100 g⁻¹ (control) by biochar-organic fertilizer application

Table 5. Soil K levels after 7 HST incubation.

Treatment	Alfisol			Entisol			Litosol		
	Average	Stdev		Average	tdev		Rata-rata	Stdev	
Kontrol	1.616	±0.413	a	0.500	±0.060	a	0.058	±0.025	a
T	4.628	±1.232	b	2.719	±0.130	c	4.278	±0.256	c
S	4.117	±1.638	bc	0.904	±0.042	ab	1.361	±0.308	b
J	3.964	±0.660	bc	1.626	±0.317	abc	0.946	±0.219	ab
K	4.117	±0.798	bc	1.244	±0.057	ab	0.696	±0.061	ab
A	4.419	±0.819	bc	1.937	±0.097	bc	0.885	±0.311	ab
TK	4.328	±1.452	bc	1.423	±0.063	ab	0.561	±0.432	ab
TA	4.701	±1.470	bc	1.876	±0.320	bc	0.383	±0.159	ab
SK	3.332	±1.286	c	1.006	±0.117	ab	0.478	±0.101	ab
SA	4.539	±1.308	c	0.923	±0.037	ab	0.665	±0.251	ab
JK	3.907	±0.060	c	1.604	±0.234	abc	1.069	±0.282	ab
JA	4.914	±0.054	c	1.338	±0.173	ab	0.752	±0.136	ab

CONCLUSION

- Growth and corn yield obtained the best result from Alfisol by applying corncob biochar – manure combination which is increased 7.7% by manure singly and 44.8% by corncob singly in Alfisol.
- Utilization of jengkok biochar – manure combination give the best result in Litosol, with average increase of corn yield 132.5%. in fact, manure applied in singly or combination with biochar types indicate increased yield (compared to controls).
- The best growth of plants showed on manure application in Entisol, even biochar and organic fertilizers usage by singly or combination showed the same yield, however showed 108% increased yet compared to controls.
- Various biochar and organic fertilizer application in Entisol indicate the same corn yield.
- Corncob biochar and manure application in Alfisol resulted in N (0.24%), P (114.1 mg kg⁻¹), and K (4.70 me 100 g⁻¹) levels balanced for the best corn shelled yield. More over, rise husk biochar and manure application on Litosol produced N (0.19%), P (45.56 mg kg⁻¹), and K (0.67 me 100 g⁻¹) in levels balanced for the best seed yield.

REFERENCE

- Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., Cornelissen, G. 2015. Biochar Amendment Increases Maize Root Surface Areas and Branching: A Shovelomics Study in Zambia. *Plant Soil* 395: 45–55.
- Ardakani, M. R. and M. Sharifi. 2017. Worm Castings-Based Growing Media with Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Producing Organic Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Greenhouse. *Iranian Journal of Plant Physiology* 7 (3), 2083–2093.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., Horie, T. 2009. Biochar Amendment Techniques for Upland Rice Production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Res.* 111, 81–84.
- Bai, S.H., Reverchon, F., CY, X., ZH, X., Blumfield, T.J., Zhao, H.T., Van Zwieten, L., Wallace, H.M. 2015. Wood Biochar Increases Nitrogen Retention in Field Settings Mainly Through Abiotic Processes. *Soil Biol Biochem* 90:232–240.
- Biederman, L.A., Harpole, W.T. 2013. Biochar and Its Effects on Plant Productivity and Nutrient Cycling: A Meta-Analysis. *GCB Bioenergy*. 5: 202214.
- Bruun, E.W., Petersen, C.T., Hansen, E., Holm, J.K., Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar Amendment to Coarse Sandy Subsoil Improves Root Growth and Increases Water Retention. *Soil Use Manag.* 30, 109–118.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2008. Agronomic Values of Greenwaste Biochar as A Soil Amendment. *Soil Res.* 45, 629–634.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D., Rutherford, D.W., Sparrevik, M., Hale, S.E., Obia, A., Mulder, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy* 3, 256–274.
- Dugan, E., Verhoef, A., Robinson, S., Sohi, S. 2010. Biochar from Sawdust, Maize Stover and Charcoal: Impact on Water Holding Capacities (WHC) of Three Soils from Ghana. 19th World Congress of Soil Science, Symposium, pp. 9–12.
- Gaskin JW, Speir RA, Harris K, Das KC, Lee RD, Morris LA. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron J* 102:623–633.
- Haryono. 2013. Lahan Rawa: Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia. IAARD Press, Jakarta. 141 hlm.
- Haefele MS, Konboon Y, Wongboon W, Amarante S, Maarifat AA, Pfeiffer ME. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.* doi:10.1016/j.fcr.2011.01014.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., Regina, K. 2011. Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity – Results from A Short-term Pilot Field study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140:309–313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>.
- Koide, R.T., Nguyen, B.T., Skinner, R.H., Dell, C.J., Peoples, M.S., Adler, P.R., and Drohan, P.J. 2015. Biochar Amendment of Soil Improves Resilience to Climate Change. *GCB Bioenergy* 7: 1084–1091, doi: 10.1111/gcbb.12191
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J., Neves, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1719. <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>.
- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochars Effect on Crop Productivity and The Dependence on Experimental Conditions - A Meta - Analysis of Literature Data. *Plant Soil* 373: 583–594.
- Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Børresen, T., Cornelissen, G., 2014. Farmerled Maize Biochar Trials: Effect on Crop Yield and Soil Nutrients Under Conservation Farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177, 681–695.
- Mulyani, A. dan Sarwani, M. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Suboptimal Untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2: 47–56.
- Naeem, M. A., M. Khalid, M. Arshad and A. Rashid. 2014. Yield and nutrient composition of biochar produced from different feedstocks at varying pyrolytic temperatures. *Pak. J. Agri. Sci.* 51(1): 75–82.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Børresen, T. 2016. In Situ Effects of Biochar on Aggregation, Water Retention and Porosity in Light-textured Tropical Soils. *Soil Tillage Res.* 155: 35–44.
- Ouyang, L., Q. Tang, L. Yu and R. Zhang. 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. *Soil Research*, 52: 706–716.
- Phares, C. A., Osei, B. A., and Tagoe, S. 2017. Effects of Biochar and Poultry Manure on the Composition of Phosphorus Solubilizing Fungi and Soil Available Phosphorus Concentration in an Oxisol. *Journal of Agriculture and Ecology Research International* 12(2): 1–15, 2017; Article no.JAERI.34526.

- Situmeang, Y.P. 2017. Agronomic Effectiveness of Bamboo Biochar on Corn Cultivation in Dryland. *J. Biol. Chem. Research*. Vol. 34, No. 2: 704-712.
- Srinivasarao, C.H., Gopinath, K.A., Venkatesh, G., Dubey, A.K., Wakudkar, H., Purakayastha, T.J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B.L., Rajkhowa, D.J., Sandip Mandal, Jeyar Aman, S., Venkateswarlu, B., and Sikka, A.K. 2013. Use of Biochar for Soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, Andhra Pradesh, 51p.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., De Macêdo, J.L.V., Blum, W.E.H., Zech, W. 2007. Long Term Effects of Manure, Charcoal and Mineral Fertilization on Crop Production and Fertility on A Highly Weathered Central Amazonian Upland Soil. *Plant and Soil* 291:275-290. [http://dx.doi.org/ 10.1007/s11104-007-9193-9](http://dx.doi.org/10.1007/s11104-007-9193-9).
- Sukartono and Utomo, W.H. 2012. The Role of Biochar as A Soil Amendment in Maize Cultivation on Tropical Loam Soil (Sandy Loam) of Tropical Semiarid of Lombok. *Buana Sains* 12 (1) : 91-98 (in Indonesian).
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, D. 1994. The Role of Soil Organic Matter in Sustaining Soil Fertility. *Nature*, v.371, p.783-785.
- Wang, Y., Zhang, L., Yang, H., Yan, G., Xu, Z., Chen, C., Zhang, D. 2016. Biochar Nutrient Availability Rather than Its Water Holding Capacity Governs The Growth of both C₃ and C₄ Plants. *J Soils Sediments* 16: 801–810.
- Widowati, Sutoyo, Iskandar, T., and Karamina, H. 2017. Characterization of Biochar Combination With Organic Fertilizer: The Effects on Physical Properties of Some Soil Types. *Bioscience Research*, 2017 14(4): 955-965.
- Zwieten VL, Kimber S, Morris S, Chan YK, Downie A, Rust J. 2010. Effect of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235–246

Lampiran 5. Paten Sederhana

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI)
DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN
PENGEMBANGAN**

Jl. M.H. Tharmrin No.8, Jakarta 10340 - Gedung 2 BPPT, Lantai 20
Telepon (021) 316-9778. Faksimil (021) 3102156
Homepage : www.ristekdikti.go.id.

No : \ut°9E5.I/LLI20 18 Db November 2018
Lampiran : I (satu) Set
n : Undangan Kegiatan Pendampingan Penyusunan Deskripsi Paten TA 2018
Perihal

Yth. Ketua/Kepala Lembaga Penelitian/LPPM (daftar terlampir)

Dalam rangka menindaklanjuti hasil seleksi proposal Unggulan Berpotensi Kekayaan Intelektual (Uber KI), Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan C.q. Direktorat Pengelolaan Kekayaan Intelektual akan menyelenggarakan **Kegiatan Pendampingan Penyusunan Deskripsi Paten** bagi inventor yang lolos seleksi proposal.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, dengan ini kami mohon bantuan Bapak/Ibu untuk menginformasikan dan menugaskan kepada nama-nama terlampir, yang terpilih berdasarkan hasil seleksi proposal Uber KI oleh Tim Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, untuk mengikuti kegiatan tersebut yang akan dilaksanakan pada:

Hari Hanggal : Senin-Selasa, 19-20 November 2018
Pukul : 13.30 WIB s.d selesai, diawali makan siang
Tempat : Hotel The 101 Bogor Suryakencana Bogor
Jalan Suryakencana No.179 -181, Babakan Pasar, Bogor Tengah, Babakan
Ps., Bogor Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16141
Telepon: (0251) 7505 101

- ~ Peserta **diwajibkan** menyiapkan *softcopy draft* dokumen paten dari proposal Uber KI, membawa laptop serta surat tugas dari pimpinan;
- ~ Peserta **diwajibkan** datang tepat waktu dan mengikuti seluruh acara kegiatan sesuai jadwal;
- ~ Mengisi Form Kesiapan di email: paten@ristekdikti.go.id dan subditvaluasi@gmail.com paling lambat tanggal 15 November 2018, pukul 10.00 WIB;
- ~ Panitia menanggung biaya perjalanan darat, perjalanan udara PP (dari lokasi instansi ke lokasi acara dan sebaliknya) dengan penerbangan ekonomi terarah Non Garuda bagi peserta dari luar Jakarta, akomodasi dan konsumsi untuk peserta selama kegiatan berlangsung;
- ~ Bukti *invoice* / harga tiket PP dan *boardingpass* diserahkan kepada panitia saat registrasi;
- ~ Membawa lembar SPPD yang telah ditandatangani oleh Pimpinan (terlampir).

Demikian kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Pengelolaan Kekayaan Intelektual,
- - - > -

Terselamatan :

1. Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
2. Rektor/Direktur/Ketua Perguruan Tinggi

Lampiran : 1...\oc:rE5.I/LL12018
No : Unclangan Kcgiatan Pcdampingan Penyusunan Deskripsi Paten TA 2018
Perihal

Daftar Universitas

Politeknik Caltex Riau

- 2 Universitas Jarnbi
- 3 Politeknik Negeri Batam
- 4 Universitas Jarnbi
- 5 Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto
- 6 Universitas Sriwijaya
- 7 Institut Pertanian Bogor
- 8 Politeknik Negeri Pertanian Pangkep
- 9 Universitas Pasundan Bandung
- 10 Politeknik Negeri Lampung
- 11 Universitas Wijaya Kusuma Surabaya
- 12 Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jatirn
- 13 Universitas Muhammadiyah Purwokerto
- 14 Universitas Lambung Mangkurat
- 15 Institut Teknologi Nasional Malang
- 16 Universitas Malikussaleh
- 17 Universitas Sebelas Maret
- 18 Universitas Ma Chung
- 19 Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang
- 20 Universitas Muhammadiyah Surakarta
- 21 Universitas Riau
- 22 Universitas Syiah Kuala
- 23 Universitas Jenderal Achmad Yani
- 24 Universitas Surabaya
- 25 Universitas Papua
- 26 Universitas Muhammadiyah Metro
- 27 Universitas Muhamrnadiyah Palangkaraya
- 28 Universitas PGRI Ronggolawe Tuban
- 29 Universitas Swiss German
- 30 Institut Pertanian STIPER Yogyakarta
- 31 Universitas Maritim Raja Ali Haji
- 32 Universitas Sari Mutiara Indonesia

NO	NAMA	PERGURUAN	JUJUL USULAN TINGGI
1	Dr Waras Nuecholis,S.Si.M.Si	Institut Pertanian Bogor	Ekstrak Air - Etanol Dari Parian Unggul Rirnpang Temu Ireng Sebagai Antikanker Payudara
2	Dr Irrnanida Batubara.Ssi.Msi	Institut Pertanian Bogor	Kornbinasi Ekstrak Batang Dan Kulit Buah <i>Nyirih(Xylocarpus Granatum)</i> Sebagai Bahan Kecantikan Untuk Pernutih, Anti Pcnuaan dan Anti Jerawat
3	Prof Dr Ir Fransiska Rungkat Zakaria,M.Sc	Institut Pertanian Bogor	Proses Pengolahan Ternnal Kacang Kecipir Tinggi Protein Dan Bebas Patio
4	Dr Irma Isnafia Ari:f,Spt.Msi	Institut Pertanian Bogor	Formula Yogurt Probiotik Rosella Untuk Fungsi Kesehatan dan Proses Pembuatannya.
5	Dr 'lessie Widya Sari	Institut Pertanian Bogor	Cangkang Telur Ayam Untuk Aplikasi Peningkatan Produksi Biogas Dari Limbah Cair Kelapa Sawit.
6	Dr Nisa Rachmania Mubarik,Msi	Institut Pertanian Bogor	Bakteriosin Dari Bakteri Asam Laktat Sebagai Biopreservatif dan Metode Pembuatannya.
7	Dr II' Sugeng Ari Wisado	Institut Pertanian Bogor	Baterai Air Laut Sebagai Sumber Energi Larnpu Penangkapan Ikan.
8	Prof Dr Ir Nurjanah,MS	Institut Pertanian Bogor	Masker Wajah Dari Rumput Laut Indonesia
9	Prof Dr II' Nurjanah,MS	Institut Pertanian Bogor	Pomade Rum put Laut Diperkaya Tropical Herbs Untuk Rambut Sehat dan Stylish.
10	Dr II' Iriani Setyaningsih	Institut Pertanian Bogor	Formulasi Sediaan Masker <i>Feel-Qff</i> Berbasis Spirulina dan Kolagen.
11	Dr II' Herdhata Agusta	Institut Pertanian Bogor	Abu Terbang Formulasi Slurry Dengan Asam Lernah Sebagai Amelioran Tanah.
12	Dr II' WiniTrilaksani,MS	Institut Pertanian Bogor	Ekstraksi I3ersih Dan Karakterisasi Virgin Fish Oil Mata Tuna <i>iThunnus Sp.</i> .
13	Dr II' Irzaman.Msi	Institut Pertanian Bogor	Tungku Sekarn Skala Industri Kecil
14	Mokhammad fakhrol ulum	Institut Pertanian Bogor	Perangkat Diagnostik Mikrofluida Penyeka Ka pas dan Benang Katun Untuk Deteksi Cepat Kehamilan.
15	Drh Huda S Darusnan, Msi.PhD	Institut Pertanian Bogor	<i>Prisma-Primateportable Spat ial Mem JJY Assessment</i> (Pcrangkat Uji iNeurosains Sederhana Untuk Ekplorasi Fungsimernori Pada Satwa Primata).
16	Dr Uus Saepuloh,Ssi. Mbiomed	Institut Pertanian Bogor	Metode Produksi Enzim Rekombinan Dna Polimerase Termofil Asal Gen Sintetik <i>Pyrococcus Furiosus</i> .
17	Dr. Jr. Andreas Wahyu Krisdiarto, M.Eng	Insti tut Pertanian STI PER Yogyakarta	Alat Pernantau Tinggi Muka Air Lahan Rambut Perkebunan Kelapa Sawit Dengan Pengiriman Sms Otoratis
18	Dr Eko Yohanes,ST.MT	Institut Teknologi Nasional Malang	Sistem Desalinasi Vakum Gravitasi alami.

PERGURUAN			
NO	NAMA	TINGG)	JUDUL USILAN
19	Aladin Eko Purkuncoro.ST. MT	Insti tut Tekno logi Nasional Malang	Mesin Pasteurisasi Susu Otoratis Portable'
20	Syafriandi,STP.M.Si	LPPM Universitas Syiah Kuala Banda Aceh	Alai Pernotong Tunggul Tebu Pisau Rotary Vertikal Dengan Traktor Roda Dua.
21	Dr Hendriko, ST.M.Eng	Politeknik Caltex Riau	Mesin Pengupas Nanas Otoratis
22	Rahman Hakim	Politeknik Negeri Batam	Alat Penyarnbung Pilamen Printer 3d Sederhana.
23	Rahman Hakim	Politeknik Negeri Batarn	Alat Bantu Pengait Tali Derek Motor Bebek Sederhana
24	Ir Beni Hidayat,Msi	Politeknik Negeri Lampung	Metode Produksi Tepung Onggok Tinggi Protein dan Rendah Hen Untuk Bahan Baku Pangan Melalui Penerapan Proses Fermentasi Semi Padat,
25	Dr tvlu'minah,SP.MP	Politeknik Negeri Pertanian Pangkep	Proses Seleksi Bakteri Penghasil <i>Eksopolisakarida</i> ; (Eps) Sebagai Promotor Pertumbuhan Tanaman Pada Pertanaman Kcntang Dataran Tinggi.
26	Dr Ir Mardalena,MP	Universitas Jambi	! Metode Pernbuatan Dan Aplikasi Produk , Probiotik Kulit Nenas (<i>Prolinas</i>)Dalam Pakan Ternak Ruminansia
27	Dr Rer Nat Muhaimin,S.Pd.M.Si	Universitas Jarnbi	Formulasi Sediaan Granul Instan Ekstrak Daun <i>Sengkubungon</i> (<i>Macaranga Giganlea</i>)Sebagai Obat Malaria.
28	Dr. Evi Sovia, dr., M.Si	Universitas Jenderal Achmad Yani	Komposisi Ekstrak Etanol Daun Dewa <i>tGynura</i> <i>Divaricata</i>) dan Penggunaannya Sebagai Herbal Antidiabetes
29	Dr Ir Hery Winarsi,MS	Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto	Komposisi Susu Kecarnbah Kacang Merah Kaya Protein dan Antioksidan Fenolik Serta Rendah Lemak Sebagai Minuman Alternatif Penderita Obesitas.
30	Iryanti Fatyasari Nata,ST.MT.PhD	Universitas Lambung Mangkurat	Komposisi Meningkatkan Konsentrasi Asam Pada
31	Iryanti Fatyasari Nata,ST.MT.PhD	Universitas Larnbung Mangkurat	Kornposisi Pernbuatan Plastik Biodegradable Fungsional Dari Pati Kulit Ubi Nagara (<i>Ipomoea</i> <i>Batatas J</i>) dan Kulit Udang Windu (<i>Penaeus</i> <i>Monodon</i>).
~ChairUI	Irawan,ST.MT.PhD	Universitas Larnbung Mangkurat	Komposisi Produksi Glukosa Cair Berantioksidan Dari Pati Ubi Nagara (<i>Dioskorea Alata L</i>) dan Ekstrak KaYII M,Anis <i>tCinnamomun Verum</i>).
33	Dr Slamet,Spi.Msi	Universitas Lambung Mangkurat	Metode Pencantasan Telur Ikan Betok <i>tAnabas</i> <i>Testudineusi</i> Menggunakan Suhu Rendah Untuk Produksi Benih Betina.
34	Dr Rini Hustiany,STP.Msi.	Universitas Larnbung Mangkurat	Metode Pernbuatan <i>Cookies Nila Balon</i> <i>Terfermentasi</i> Dari Tepung Ubi Jalar Putih dan Tepung Kecarnbah Kacang Nagara (<i>Vigna</i> <i>Unguiculata Spp Cylindrica</i>).

35 Dr Rini
Hustiany,STP.Msi.

Universitas Larnbung
Mangkurat

Metode Pernbuatan Kecarnbah Kacang Nagara
(*Vigna Unguiculata Spp Cylindrica*).

NO	NAMA	PERGURUAN	JUDUL USULAN TINGGI
36	Eva Mollica, M.Sc., ApI.	Universitas Ma Chung	Formulasi Spray Minyak Atsiri Masoyi Dengan Sistem Penghantaran <i>SelfEmulsifying</i> Sebagai Pengobatan <i>Candidiasis Oral</i>
37	Sulhatun, ST. MT.	Universitas Malikussalch	Alat Destilasi Untuk Pernurnian Asapcair
38	I-enky Irawan, S.Pi., MP., M.Sc	Universitas Maritim Raja Ali Haji	Terumbu Beton Sederhana
39	Suharno Zen, M.Sc.	Universitas Muhammad iyah Metro	Formulasi Lotion Antinyamuk Dari Bunga Tahi Kotok Yang Murah Dan Aman Terhadap Lingkungan
40	Rezqi Handayani, M.P.H., Apt.	Universitas Muhammadiyah Palangkaraya	Formulasi Gummy Bawang Dayak Asal Kalimantan Tengah
41	Sisumndar, PhD	Universitas Muhammadiyah Purwokerto	Produksi Benih Tebu Siap Tanam Melalui Kultur Meristem.
42	Ambarwati, M.Si	Universitas Muhammadiyah Surakarta	Komposisi Sampo Antiketombe Dari Kombinasi Ekstrak Daun Pandan Wangi dan Ekstrak Buah Mengkudu
43	Reniana S.TP., M.Sc	Universitas Papua	Mesin Ekstraksi Pati Sagu Model Pengaduk Berulir
44	Gatot Santoso, Ir.MT	Universitas Pasundan Bandung	Cetakan Tempa Panas Paku
45	Il' Farid Rizayana, MT	Universitas Pasundan Bandung	Gearbox Untuk Traktor/Kultiyator Multifungsi.
46	Dr Dedi Lazuardi, Ir.DEA.	Universitas Pasundan Bandung	Kursi Lipat Untuk Manula.
47	Dr.Dra Hj Sutini, MPd	Universitas Pembangunan Nasional Veteran	Teknik Produksi Asam Galat Melalui Kultur <i>In Vitro Kalus Camellia Sinensis L.</i>
48	Dr. Marita Ika Joesidawati, ST., M.Si., M.Pd.	Universitas PORI Ronggolawe Tuban	Jatim Alat Pengasapan Ikan <i>Efthilink</i>
49	Dr. Yelmida Azis, M.Si	Universitas Riau	Esterifikasi <i>Palm Fatly Acid Distillate (PIad)</i> Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Heterogen Cu-Hidroksiapatit
50	Barita Aritonang, ST., M.Si	Universitas Sari Mutiara Indonesia	Metode Modifikasi Karat Alum Siklis Dengan Asam <i>Oleat Dan Benzoil Peroksida</i>
51	Teguh Endah Saraswati, M.Sc., Ph.D	Universitas Sebelas Maret	Metode Pembuatan Material Magnetik Oksida Besi Magnetit, Maghemit Dan Hematit Dengan Elektrolisis Paku Besi Diikuti Kalsinasi
52	R R Yunita Bayu Ningsih, ST.MT	Universitas Sriwijaya	Metode Coating Batubara Dengan Menggunakan Minyak Kelapa.
53	Selpiana, ST., MT	Universitas Sriwijaya	Desain Peralatan Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair

			JUDUL USULAN
NO	NAMA	PERGURUAN TINGGI	
54	Kartini, S.Si., M.Si., Apt., Ph.D.	Universitas Surabaya	Sediaan Gel Ekstrak Daun Sendok Sebagai Terapi Pendamping Luka Kaki Diabetes
55	Mutiara Pratiwi, STP., M.si	Universitas Swiss German	Formulasi Tepung Goreng Pelapis (<i>Batter Coating</i>) yang Diperkaya Pati Resisten Dari Pisang Kepok Untuk Mengurangi Serapan Minyak Pada Produk Gorengan
56	Dr. Rahmi, M.Si	Universitas Syiah Kuala	Komposit Khitosan/Selulosa Sebagai Adsorben Ion Logam Berat
57	Dr Il' Kgs Ahrnadi.Mf	Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang	Metode Sparasi Vitamin E Dan Fitosterol Secara Simultan Dari Distilat Asam Lemak Minyak Sawit Dengan Teknik Kristalisasi.
58	Dr. Il' Widowati, MP	Universitas Tungadewi Malang	Komposisi Biochar Jagung dan Tongkol
	Ir Endang Retno Wedowati.MT	Universitas Wijaya Kusuma Surabaya	Proses Pengolahan Gula Siwalan Cair Dengan Nilai Indeks Glikemik Rendah.

FORM KESEDIAAN
PELATIHAN PENDAMPINGAN PEMYUSUNAN DESKRIPSI PATEN
Bogor, 19 – 20 November 2018

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap (gelar)	: Dr. Ir. Widowati, MP
Jenis Kelamin	: Laki-laki / Perempuan *)
Perguruan Tinggi/Instansi	: Universitas Tribhuwana Tunggadewi
Alamat Kantor/Perguruan Tinggi	: Jl. Telaga Warna, Tlogomas Malang
Telp/Fax	: 0341 – 565500 / 0341 - 565522
E-mail	: widwidowati@gmail.com
Alamat Rurnah	: Jl. Sasando 182 Malang, kode pos 65143
Telp/Fax/HP	: 0341 – 485606 / 0822 4571 1408

Dengan 'ini menyatakan bahwa saya ~~BERSEDIA/TIDAK BERSEDIA~~ *) sebagai Peserta pada kegiatan tersebut di atas sesuai jadwal yang telah ditentukan .

Malang, 12 Nopember 2018

Yang menyatakan,



(Dr. Ir. Widowati, MP)

Catalan:

1. *) coret yang tidak perlu;
2. Mohon formulir kesediaan dikirim kepada Panitia melalui : e-mail : paten@ristekdikti.go.id / subditvaluasi@gmail.com selambat-lambatnya tanggal 15 November 2018 pkl. 10.00 WIB.

Bagi pcserta yang berhalangan hadir, dapat diwakilkan kepada anggota tim dengan judul sesuai undangan dengan mernbawa sural penunjukan dari ketua tirn/kepala LP/LPPM/Sentra KI.

|

**PROPOSAL UBER HKI
BANTUAN PENDAFTARAN PATEN**



KOMPOSISI BIOCHAR TONGKOL JAGUNG DAN PENGGUNAANYA

Oleh :

- | | |
|------------------------------------|-----------|
| 1. Dr, Ir. Widowati, MP | (Ketua) |
| 2. Ir. Taufik iskandar, M.AP | (Anggota) |
| 3. Hidayati Karamina, SP., SH., MP | (Anggota) |

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI
TAHUN 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

- | | | |
|---|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Judul Invensi | : Komposisi Biochar tongkol jagung dan penggunaannya |
| 2 | Ketua Pengusul | |
| | a. Nama Lengkap | : Dr. Ir. Widowati, MP |
| | b. Jenis Kelamin | : P |
| | c. NIP/NIDN | : 19650824 1993022001 |
| | d. Bidang ilmu | : Ilmu Tanah |
| | e. Pangkat/Golongan | : Pembina / IV a |
| | f. Jabatan | : Lektor Kepala |
| | g. Fakultas/Jurusan | : Pertanian/ Agroteknologi |
| | h. Perguruan Tinggi | : Universitas Tribhuwana Tungadewi. |
| | i. Telepon/Faks/E-mail | : 0341 - 565500/ 565522 |
| | j. Alamat Rumah | : Jl. Sasando 182 Malang |
| | k. Telepon/Faks/E-mail | : 0341 – 485606 |
| | l. Ponsel | : 0812 3313660 |
| 3 | Jumlah Anggota | : 2 orang |
| | a. Nama Anggota I | : Ir. Taufik Iskandar, M.AP |
| | b. Nama Anggota II | : Hidayati Karamina, SP., SH., MP |
| 4 | Jenis Paten
(lingkari yang dipilih) | 1. Paten
② Paten Sederhana |
| 5 | Penelitian/Pengabdian yang mendukung (sebutkan judul | : Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering (165/TB-LPPM/TU-220/V/2017) |

Malang, 19 September 2018

Ketua Pengusul

Mengesahkan
Dekan Fakultas Pertanian



Dr. Ir. Anwar Hamzah, MP
NIP. 196727052005011001

Dr. Ir. Widowati, MP
NIP. 19650824 1993022001

Menyetujui
LPPM



Kiki Nur Haryanto MP
NIP. 196709052005011001

SURAT PERNYATAAN INVENSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap (Ketua) : Dr. Ir. Widowati, MP

NIP/NIDN : 19650824 1993022001

Pangkat/Golongan : Pembina / IV a

Fakultas/Jurusan : Pertanian / Agroteknologi

Dalam rangka mengikuti program Bantuan Pendaftaran Paten Unggulan Berpotensi Hak Kekayaan Intelektual yang dilaksanakan oleh Direktorat Pengelolaan Kekayaan Intelektual, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Tahun 2018, menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

Judul Invenisi : Komposisi biochar tongkol jagung dan penggunaannya

Bidang Ilmu : Ilmu Tanah

Fakultas/Jurusan : Pertanian/ Agroteknologi

Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

Jumlah Anggota : 2 orang

belum pernah didanai untuk didaftarkan paten oleh instansi/lembaga lain. Apabila terbukti sebaliknya, saya bersedia untuk menanggung sanksi dari Direktorat Pengelolaan Kekayaan Intelektual, Ditjen Penguatan Risbang, Kemenristekdikti.

Malang, 19 September 2018

Yang menyatakan



(Dr. Ir. Widowati, MP)

Sitematika Usulan Bantuan Pendaftaran Paten UBER HKI

a. Uraian umum

1. Judul Invensi
2. Ketua Pengusul
 - a. Nama Lengkap dengan gelar : Dr. Ir. Widowati, MP
 - b. Jenis kelamin : P
 - c. NIP/NIDN : 19650824 1993022001
 - d. Bidang Ilmu : Ilmu tanah
 - e. Pangkat/ Golongan : Pembina / IV a
 - f. Jabatan fungsional/ struktural : Lektor Kepala
 - g. Fakultas/ Jurusan : Pertanian/ Agroteknologi
3. Anggota pengusul 1
 - a. Nama Lengkap dengan gelar : Ir. Taufik Iskandar, M.AP
 - b. Jenis kelamin : L
 - c. NIP/NIDN : 0731105801
 - d. Bidang Ilmu : Bioenergi
 - e. Pangkat/ Golongan : Penata Tk.1 / III d
 - f. Jabatan fungsional/ struktural : Lektor
 - g. Fakultas/ Jurusan : Teknik/ Teknik kimia
4. Anggota pengusul 2
 - a. Nama Lengkap dengan gelar : Hidayati Karamina, SP., SH., MP
 - b. Jenis kelamin : P
 - c. NIP/NIDN : 0704019101
 - d. Bidang Ilmu : Ilmu Tanaman
 - e. Pangkat/ Golongan : Penata muda Tk.1/ III b
 - f. Jabatan fungsional/ struktural : Asisten Ahli
 - g. Fakultas/ Jurusan
5. Bidang Teknologi : a. Kebutuhan manusia (Pertanian)
6. Jumlah klaim invensi : 3

Uraian penelusuran Paten

No	Nomor paten	Keterangan
1	EP 2524020 A2	<p>Metode produksi biochar dan komposisinya diarahkan untuk menghasilkan biochar material oksigen yang memiliki properti tukar kation. Sumber biochar direaksikan dengan satu atau lebih senyawa yang mengandung oksigen dalam proses pembakaran tidak sempurna. Penemuan ini juga diarahkan untuk komposisi biochar oksigen dan formulasi tanah yang mengandung bahan biochar yang beroksigen</p> <p>(https://patents.google.com/patent/EP2524020A2/en?q=corn+cob+ biochar).</p>
2	CA 2838485 A1	<p>Sistem dan metode untuk menghasilkan Char BMF dengan menggunakan reaktor biomassa fraksinasi di mana biomassa difraksinasi dengan suhu dan tekanan tertentu dan char BMF digunakan sebagai aditif tanah</p> <p>(https://patents.google.com/patent/CA2838485A1/en?q=corn+cob+biochar).</p>
3	US 9527780 B2	<p>Meningkatkan kinerja biochar menggunakan pirolisis larutan asam dimana metode ini menghasilkan biochar yang dimodifikasi dan penggunaan biochar sebagai amandemen tanah. Biochar yang dimodifikasi dapat diproduksi dengan menghubungkan biochar dengan larutan asam.</p> <p>(http://pdfpiw.uspto.gov/.piw?Docid=09527780&homeurl=http%3A%2F%2Fpatft.uspto.gov%2Fnetacgi%2Fnph-Parser%3FSect2%3DPTO1%2526Sect2%3DHITOFF%2526p%3D1%2526u%3D%2Fnethtml%2FPTO%2Fsearch-bool.html%2526r%3D1%2526f%3DG%2526l%3D50%2526d%3DPAL</p> <p>L%2526S1%3D9527780.PN.%2526OS%3DPN%2F952778</p>

0%2526RS%3DPN%2F9527780&PageNum=&Rtype=&SectionNum=&idkey=NONE&Input=View+first+page).

- 4 **CN 105060274 A** Biochar sampah organik perkotaan secara pirolitik, kondisioner tanah dan metode penggunaan kondisioner tanah

(<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/2c20258749bb5850b23d/CN105060274A.pdf>).
- 5 **WO 2017044968 A3** Paten Penerapan biochar dengan tujuan budidaya tanaman yang memiliki akar, dimana 95% dari partikel-partikel karbon berpori memiliki ukuran partikel kurang dari atau sama dengan 10 mm. Metode ini menggabungkan partikel karbon berpori ke dalam tanah di sekitar akar tanaman pada kedalaman antara 0-24 inci dari permukaan tanah, di mana partikel-partikel karbon berpori diposisikan di daerah sekitarnya akar tanaman dengan perbandingan antara 1 : 999-1: 1 partikel karbon berpori untuk tanah.

(<https://patents.google.com/patent/WO2017044968A3/en?q=application+of+biochar+for+soil+remediation>).
- 6 **AS 9809502 B2** Peningkatan biochar yang diperlakukan untuk memiliki sifat kimia dan sifat fisik tertentu ditemukan memiliki dampak tertinggi pada pertumbuhan tanaman dan / atau kesehatan tanah. Secara khusus, berikut sifat fisik dan/ atau sifat kimia, antara lain, biochar telah diidentifikasi memiliki sifat penting untuk mengendalikan pemilihan bahan baku biomassa, kondisi pirolisis, dan / atau meningkatkan kinerja biochar: (i) kepadatan massa (ii) kapasitas peresapan; (Iii) distribusi ukuran partikel; (Iv) kepadatan partikel padat; (V) luas permukaan; (Vi) porositas; (Vii) porositas total; (Viii) rasio makro total porositas (ix) kandungan senyawa organik; (X) kandungan senyawa organik yang mudah menguap;

(Xii) kadar abu; (Xiii) kapasitas menahan air; (Xiv) kemampuan retensi air; (Xv) produk sampingan yang berpotensi berbahaya lainnya dari pirolisis; dan (xvi) pH.

(<https://docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US9809502.pdf>).

- 7 **WO** Biochar sebagai pembawa mikroba
 2017117314 A1
 (<https://patents.google.com/patent/WO2017117314A1/en?q=use+of+biochar+in+agriculture+pdf>).

1. Uraian Potensi komersial

Aspek penerapan di industri

Peluang untuk memanfaatkan tongkol jagung sebagai bahan baku biochar cukup menarik untuk dikembangkan. Selain dapat mengurangi volume limbah, juga dapat menghasilkan produk terkini yang bermanfaat untuk meningkatkan nilai ambang ekonomi yang lebih baik. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai biochar yang berperan sebagai bahan pembenah tanah dapat memberikan peluang usaha bagi industri kreatif di dimanapun berada. Hal ini sesuai dengan arahan dari Pemerintah dimana program untuk menanggulangi permasalahan sampah salah satu penerapan melalui 3R yaitu *reuse*, *reduce* dan *recycle*.

Biochar tongkol jagung merupakan produk yang dapat dijual oleh industri maupun perusahaan kepada penggunanya. Pengembangan produk lokal yang sesuai dengan kearifan nusantara merupakan serangkaian aktifitas yang diawali dari peluang pasar dan diakhiri dengan produksi, penjualan dan pemasaran produk. Beberapa aspek penerapan yang perlu dilakukan oleh industri yaitu :

- Perencanaan
- Pengembangan konsep
- Perencanaan tingkat sistem
- Perencanaan detail
- Pengujian dan perbaikan
- Produksi

Hampir semua bagian dari jagung mampu dimanfaatkan dengan baik. Bagian yang dibuat biochar kali ini yaitu pada tongkol jagung. Tongkol jagung dimanfaatkan

sebagai biochar tongkol jagung yang dapat dimanfaatkan oleh pelaku usaha dan industri.

Cakupan pengguna

Biochar merupakan arang hitam hasil dari proses pemanasan biomassa pada keadaan oksigen terbatas atau tanpa oksigen. Biochar merupakan salah satu bahan organik yang memiliki sifat stabil dan dapat dijadikan pembenah tanah di lahan. Penggunaan biochar sebagai salah satu pilihan dimana sumber bahan organik segar dalam pengelolaan tanah untuk tujuan perbaikan dan peningkatan kualitas kesuburan tanah yang semakin berkembang. Saat ini fokus penting bagi para peneliti yaitu untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

Cakupan pengguna yang dapat memanfaatkan biochar tongkol jagung ini yaitu adalah perusahaan industri yang bergerak dalam budidaya pertanian, petani dan pelaku usaha perseorangan dibidang pertanian. Dengan adanya pembuatan biochar secara massal maka perusahaan industri yang bergerak dalam budidaya pertanian, petani dan pelaku usaha perseorangan dibidang pertanian meningkatkan produksi tanaman, efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan menjaga kesehatan lingkungan melalui perbaikan sifat-sifat tanah secara berkelanjutan.

Wilayah pasar yang menjadi target

Wilayah yang menjadi target dalam pengembangan biochar tongkol jagung adalah wilayah yang memiliki luasan kesuburan dan produktivitas tanah yang rendah, lahan kritis/ lahan marginal dengan kondisi tanah yang miskin hara, kekurangan bahan organik, kekurangan air dan ketersediaan pupuk kimia (baik lahan kering maupun lahan basah). Karakteristik dengan kriteria diatas dapat ditemukan di penjuru daerah di Indonesia.

Urgensi kebutuhan terhadap invensi

Biochar tongkol jagung sangat bermanfaat sebagai sarana yang penting untuk meningkatkan keamanan pangan dan keragaman tanaman di wilayah dengan tanah yang miskin hara, kekurangan bahan organik, dan kekurangan air dan ketersediaan pupuk kimia. Biochar mampu meningkatkan kualitas dan kuantitas air dengan meningkatnya penyimpanan tanah bagi unsur hara dan agrokimia yang digunakan oleh tumbuhan dan tanaman. Selain itu penambahan biochar ke tanah meningkatkan ketersediaan kation utama dan fosfor, N total dan kapasitas tukar kation tanah (KTK)

yang pada akhirnya meningkatkan hasil tanaman karena dapat mengurangi risiko pencucian hara khususnya kalium dan N-NO₃.

Tanah – tanah di Indonesia semakin lama semakin menurun tingkat kesuburannya. Banyak diantaranya merupakan lahan kritis/lahan terdegradasi. Lahan yang tidak dapat dikelola dengan baik sehingga secara bertahap menyebabkan kualitas tanah menurun dan berakibat pada penurunan produktivitas pertanian. Demikian pula dengan daerah bekas pertambangan yang tidak subur dan strukturnya telah rusak. Luas kedua tipe lahan tersebut semakin besar dan secara teori masih dapat direkonstruksi. Bila ditelusuri lebih dalam maka lahan pertanian yang rusak dapat dikembalikan lagi tingkat kesuburannya dengan cara mengelolanya dengan baik. Di sisi lain biochar (arang hayati) yang ditawarkan sebagai pembenah lahan mampu memberi solusi yang saat ini terjadi. Biochar dapat dibuat dari berbagai biomasa, bahkan limbah-limbah pertanian yang memenuhi syarat.

2. Rancangan deskripsi paten

a. Judul invensi :

Komposisi biochar tongkol jagung dan penggunaannya

b. Bidang teknik Invensi

Sebagai bahan perbaikan tanah yang dapat meningkatkan kesuburan tanah di lahan kering, khususnya biochar yang dibuat dari tongkol jagung secara pyrolisis.

c. Latar belakang invensi

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat keterbatasan luasan lahan subur dan ketidakmungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada di bawah kapasitas lapang. Faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga mempengaruhi kesuburan tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah maupun faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas lahan rendah.

Masalah yang seringkali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai topsoil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara

mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk biochar. Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013), konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru.

Paten **EP 2524020 A2** tentang metode produksi biochar dan komposisinya, diarahkan ke metode untuk menghasilkan biochar material oksigen yang memiliki sifat tukar kation, dimana sumber biochar direaksikan dengan satu atau lebih senyawa yang mengandung oksigen dalam proses pembakaran tidak sempurna. Penemuan ini juga diarahkan untuk komposisi biochar oksigen dan formulasi tanah yang mengandung bahan biochar yang beroksigen.

Paten **CA 2838485 A1** menunjukkan tentang sistem dan metode untuk menghasilkan BMF Char menggunakan reaktor fraksinasi biomassa dimana biomassa difraksinasi dengan suhu dan tekanan tertentu, dan mengatakan BMF char digunakan sebagai aditif tanah. Patem **US 9527780 B2** menyebutkan bahwa meningkatkan kinerja biochar dengan menggunakan pirolisis acid stream dimana metode ini menghasilkan biochar yang dimodifikasi dan penggunaan biochar sebagai amandemen tanah. Biochar yang dimodifikasi dapat diproduksi dengan menghubungkan biochar dengan larutan asam yang diperoleh dari aliran asam yang diproduksi dalam proses pirolisis, yang menghasilkan biochar. Sesuai dengan salah satu aspek, biomassa selulosa yang dipirolisis untuk menghasilkan aliran yang mengandung asam organik, yang kental untuk menghasilkan solusi yang mengandung asam organik. Biochar ini kemudian dimodifikasi oleh kontak dengan larutan yang mengandung asam organik.

Paten **CN 105060274 A** mengungkapkan bahwa biochar sampah organik perkotaan secara pirolitik, kondisioner tanah dan metode penggunaan kondisioner tanah. Paten **WO 2017044968 A3** menunjukkan tentang metode untuk penerapan biochar dengan tujuan budidaya tanaman yang memiliki akar, dimana setidaknya 95% dari partikel-partikel karbon berpori memiliki ukuran partikel kurang dari atau sama dengan 10 mm. Metode ini menggabungkan partikel karbon berpori ke dalam tanah di sekitar akar tanaman pada kedalaman antara 0-24 inci dari permukaan tanah, di mana partikel-

partikel karbon berpori diposisikan di daerah sekitar akar tanaman dengan perbandingan antara 1 : 999-1: 1 partikel karbon berpori untuk tanah.

Paten **AS 9809502 B2** menyebutkan bahwa peningkatan biochar yang diperlakukan untuk sifat kimia dan fisik tertentu yang memiliki dampak tertinggi pada pertumbuhan tanaman dan / atau kesehatan tanah. Secara khusus, berikut sifat fisik dan/ atau sifat kimia, antara lain, biochar telah diidentifikasi sebagai sifat penting untuk mengendalikan dalam pemilihan bahan baku biomassa, kondisi pirolisis, dan / atau meningkatkan perlakuan untuk meningkatkan kinerja biochar: (i) kepadatan massa (ii) kapasitas penyerapan; (iii) distribusi ukuran partikel; (iv) kepadatan partikel padat; (V) luas permukaan; (vi) porositas; (vii) porositas total; (viii) rasio pori makro total (ix) kandungan senyawa organik; (x) kandungan senyawa organik yang mudah menguap; (xii) kadar abu; (xiii) kapasitas menahan air; (xiv) kemampuan retensi air; (xv) produk samping yang berpotensi berbahaya dari pirolisis; dan (xvi) pH.

Paten **WO 2017117314 A1** menunjukkan tentang biochar sebagai pembawa mikroba. Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Karena dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007). Biochar sebagai bahan pembenah tanah telah digunakan pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung, pada tanah sulfat masam di Kalimantan, lahan kering beriklim kering, tanah lempung berpasir di Lombok Utara, lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan, dan tanah yang sedang terdegradasi. Biochar adalah teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/ biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi yang dapat meningkatkan KTK, pH, retensi hara, dan kapasitas memegang air, terutama di tanah bertekstur berpasir (Lehmann *et al.*, 2006).

Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan pori aerase dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014)

menyebutkan biochar serasah jagung 20 t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t/ha dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung. Hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Alfisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam.

Invensi yang diajukan ini menyediakan informasi bahwa biochar tongkol jagung yang dibuat dalam reaktor pada suhu 300 – 500⁰C dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan cyclone separator yang tersambung dengan kondensor dengan karakteristik fisik (Widowati *et al.*, 2017) dapat meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (KTK) tanah. Sebuah KTK lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dari tanah untuk menyerap dan menahan nutrisi dan karenanya ketersediaan hara menjadi lebih tinggi 15 (Novak *et al.*, 2009).

d. Ringkasan invensi

Biochar yang dihasilkan berasal dari tongkol jagung. Tongkol jagung dijadikan biochar yang dibuat dalam reaktor pada suhu 300 – 500 ⁰C selama 3-4 jam dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan cylone separator yang tersambung dengan kondensor. Pirolisis dengan komposisi produk pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik biochar dan biomasa

Parameter	Biochar tongkol jagung	Tongkol jagung
Kapasitas Pegang Air (%)	249,6	
Bulk Density (grm/cm ³)	0,27	
Ukuran Partikel (%)		
- Mesh 325 (0,044 mm)	0,8	
- Mesh >60 (0,250 mm)	14,25	
- Mesh Ukuran Butiran 30 (0,595 mm)	54,2	
- Mesh 18 (1,00 mm)	70,8	
pH (H ₂ O 1:2,5)	9,46	5,10
Total C (%)	45,6	
C organik (%)		34,24
Ec (mili siemens)	4,67	
KTK cmol kg ⁻¹	40,12	
Abu (%) (Ash)	23,6	
N (%)	0,51	0,84
P (%)	0,46	0,35
K (%)	3,96	0,68
S, SO ₄ (%)	0,41	

Na (%)	1,63	0,39
Ca (%)	2,45	0,44
Mg (%)	0,28	0,06
Mn (%)	0,03	

Setelah pembuatan biochar, dilanjutkan dengan aplikasi biochar tongkol jagung sebanyak 15 ton/ha pada tanaman jagung. Dosis biochar tongkol jagung sebanyak 15 ton/ha yang dikombinasi dengan pemupukan anorganik N,P,K. Pupuk Urea, SP₃₆, KCl yang digunakan dengan dosis 135 kg N/ha, 36 kg P₂O₅/ha dan 110 kg K₂O/ha. Peningkatan KTK tanah dengan biochar tongkol jagung lebih tinggi daripada tanpa biochar tongkol.

e. Uraian lengkap invensi

Sebagaimana telah dikemukakan pada latar belakang invensi bahwa lahan kering dapat ditingkatkan kesuburannya dengan aplikasi biochar tongkol jagung. Biochar tongkol jagung yang diproduksi dari tongkol jagung dalam reaktor baja pada suhu 300 – 500⁰C selama 3-4 jam dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan sistem separator yang tersambung dengan kondensor. Biochar yang dihasilkan masih mengandung unsur hara dengan komposisi pada Tabel 1.

Biochar tongkol yang telah digunakan pada tanaman jagung yang dipanen dapat mempengaruhi perubahan KTK tanah secara signifikan (Tabel 2).

Tabel 2. Komposisi kimia tanah dengan dan tanpa biochar tongkol jagung pada masing-masing jenis tanah pada saat panen jagung (112 hari)

Perlakuan	pH 1:1		C org (%)	N tot (%)	P (mg kg ⁻¹)	K	Na	Ca	Mg	KTK	Juml Basa	KB (%)
	H ₂ O	KCl 1N				NH4OAC1N pH:7 (me/100g)						
Entisol					Bray 1							
Tanpa biochar	6,3	5,8	0,18	0,05	12,12	0,91	1,50	6,62	0,17	11,86	9,20	78
Dengan biochar	6,5	6,1	0,39	0,08	19,32	2,07	2,12	7,38	1,20	14,91	12,78	85
Litosol					Olsen							
Tanpa biochar	7,0	6,6	0,80	0,12	0,91	0,69	2,00	32,36	0,29	35,79	35,76	99
Dengan biochar	7,0	6,6	1,16	0,13	9,94	2,20	1,47	34,30	0,53	38,35	38,51	100
Inseptisol					Bray 1							
Tanpa biochar	6,2	5,5	0,30	0,07	14,36	1,34	3,06	21,84	1,93	33,38	31,18	84
Dengan biochar	6,2	5,7	0,70	0,12	36,59	2,00	2,10	23,01	5,22	35,81	32,34	90

Tahapan produksi biochar sebagai berikut :

Sebelumnya tongkol jagung harus dipotong kecil dengan ukuran maksimal 5 cm dan harus kering dengan kadar air 10%. Tongkol jagung dimasukkan kedalam reaktor pyrolisis, dibakar dengan temperatur control di bagian atas dipertahankan tidak melebihi 80⁰C dan di bagian bawah dipertahankan berada dibawah 40⁰C. Selama proses, temperatur pyrolisis berlangsung antara 300-500 ⁰C. Proses pyrolisis dinyatakan selesai jika panas pada dinding reaktor sudah merata dari atas sampai ke bawah dan jika dinding reaktor pyrolisis tidak terlalu panas biochar dikeluarkan. Biochar yang dihasilkan terlebih dahulu dihaluskan sebelum diaplikasikan ke dalam tanah. Komposisi kimia biomassa (tongkol jagung) dan biochar tongkol jagung disajikan pada Tabel 1. Biochar tongkol jagung yang diaplikasikan ke tiga jenis tanah sebanyak 15 ton/ha. Biochar tongkol jagung dicampur secara merata pada masing-masing jenis tanah (Entisol, Litosol, Inseptisol) yang berasal dari lahan kering. Benih jagung ditanam setelah ditumbuhkan dengan pemeliharaan yang baik hingga panen selama 112 hari. Hasil sifat kimia tanah setelah diberi biochar dan tidak diberi biochar dalam waktu 112 hari (panen) disajikan pada Tabel 2.

f. Klaim

1. Proses pembuatan biochar dari tongkol jagung dengan pyrolisis terdiri dari:
 - a. Tongkol jagung dimasukkan kedalam reaktor pyrolisis melalui lubang pemasukan (feeder) sampai batas dibawah lubang gas yang menuju Cyclone.
 - b. Tongkol jagung dibakar dengan menggunakan pemantik/korek api biasa sampai permukaan material umpan terbakar, bersamaan itu blower dinyalakan.
 - c. Setelah api dapat membakar material umpan secara merata kemudian reaktor pyrolisis ditutup rapat sampai asap tidak bocor. Temperatur kontrol bagian atas condensor mulai terlihat bergerak naik (>40⁰C) yang berarti proses pada reaktor pyrolysis sudah berjalan. Jika temperatur control tidak berubah (=40⁰C) berarti material umpan belum terbakar sempurna dan penyalaan harus diulang.
 - d. Temperatur control dipertahankan tidak melebihi 80⁰C, jika temperatur lebih 80⁰C maka aliran air dari water cooler harus ditingkatkan/ ditambah.
 - e. Temperatur control bagian bawah condensor dipertahankan berada dibawah 40⁰C agar asap yang keluar tidak terlalu banyak dan hasil condensasi cukup optimal, jika berlebih maka aliran air dari water cooler harus ditingkatkan/ ditambah.
 - f. Selama proses, temperatur pyrolisis berlangsung antara 300-500 ⁰C. Jika panas pada dinding reaktor sudah merata dari atas sampai ke bawah maka proses pyrolisis

dapat dinyatakan selesai kemudian blower dimatikan. Kemudian ditunggu sampai kurang lebih 1 jam agar dinding reaktor pyrolysis tidak terlalu panas dan atau hasil pyrolysis yang berupa cairan betul-betul tuntas.

- g. Selanjutnya pintu outlet dibuka dan biochar dikeluarkan melalui pintu outlet bagian bawah reaktor dengan cara membuka greater. Setelah sistem operasi telah selesai, aliran air dari water cooler dimatikan dengan cara mematikan pompa distribusinya.
2. Proses pembuatan biochar sesuai klaim 1, dimana bahan baku berupa tongkol jagung dipotong kecil dengan ukuran maksimal 5 cm dan kadar air tidak lebih dari 10%.
3. Biochar tongkol jagung sesuai dengan klaim-klaim sebelumnya, setelah diaplikasikan ke dalam tanah diperlukan inkubasi selama 7 hari sebelum tanam.

g. Abstrak

Komposisi Pembuatan Biochar Tongkol Jagung Dan Penggunaannya

Invensi ini berhubungan dengan proses pembuatan biochar dari tongkol jagung dalam reaktor pyrolysis terdiri dari tahapan: a. Tongkol jagung dimasukkan kedalam reaktor pyrolysis melalui lubang pemasukan (feeder) sampai batas dibawah lubang gas yang menuju Cyclone kemudian dibakar dengan menggunakan pemantik/korek api biasa sampai permukaan material umpan terbakar dan bersamaan itu blower dinyalakan. b. Setelah api dapat membakar material umpan secara merata kemudian reaktor pyrolysis ditutup rapat sampai asap tidak bocor. Temperatur kontrol di bagian atas condensor mulai terlihat bergerak naik ($>40^{\circ}\text{C}$) yang berarti proses pada reaktor pyrolysis sudah berjalan. Jika temperatur kontrol tidak berubah ($=40^{\circ}\text{C}$) berarti material umpan belum terbakar sempurna dan penyalaan harus diulang. c.

Temperatur control dipertahankan tidak melebihi 80°C , jika temperatur lebih 80°C maka aliran air dari water cooler harus ditingkatkan/ ditambah. Temperatur control di bagian bawah condensor dipertahankan berada dibawah 40°C agar asap yang keluar tidak terlalu banyak dan hasil condensasi cukup optimal, jika berlebih maka aliran air dari water cooler harus ditingkatkan/ ditambah. d. Selama proses, temperatur pyrolysis berlangsung antara $300-500^{\circ}\text{C}$, jika panas pada dinding reaktor sudah merata dari atas sampai ke bawah maka proses pyrolysis dinyatakan selesai kemudian blower dimatikan. e. Kemudian ditunggu sampai kurang lebih 1 jam agar dinding reaktor pyrolysis tidak terlalu panas dan atau hasil pyrolysis yang berupa cairan betul-betul tuntas. f. Kemudian pintu outlet dibuka dan biochar dikeluarkan melalui pintu outlet bagian bawah reaktor dengan cara membuka greater. g.

Setelah sistem operasi telah selesai, aliran air dari water cooler dimatikan dengan cara mematikan pompa distribusinya. Biochar tongkol jagung diaplikasikan ke dalam tiga jenis tanah (Entisol, Litosol, Inseptisol) dan dilanjutkan dengan penanaman hingga 112 hari panen.



Lampiran 8. Artikel Ilmiah pada Seminar Internasional dan Nasional

THE SOIL ORGANIC DYNAMICS FROM TYPES BIOCHAR-ORGANIC FERTILIZERS AND SOIL

Widowati, Sutoyo, Taufik Iskandar, Hidayati Karamina

Tribhuwana Tunggaladewi University, Malang, Indonesia

widwidowati@gmail.com

Abstract

The aim of this study is to examine the effect of different types of biochar-organic fertilizer and soil on the dynamics of soil organic matter. Incubation research on three types of infertile soils and low productivity (viz. litosol, mediteran, regosol) is conducted in a greenhouse. There will be twelve applications of different treatments with biochar and organic fertilizer (single or mixed) with controls. The three kinds of biochar used are rice husk, corn cob and jengkok (by product of cigarette industry) and the organic fertilizer is taken from organic waste compost and chicken manure mixed with rice husks. Biochar-organic fertilizer mixed with soil 3.85 kg at 150 g pot⁻¹ (single) and 75 g pot⁻¹ (mixed) and incubated at 70-80% field capacity for 98 days in different pots. Soil organic carbon was observed after incubation of 7, 14, 28, 56, and 98 days. The results showed the highest increase of soil organic matter after being given biochar jengkok or corn cob biochar on clay textured soil but biochar jengkok or corncob mix biochar and compost on sandy soil. The highest regosol soil organic matter from biochar tobacco was given on the 14th day until the 56th, then the corn cob mixture biochar and compost on the 98th day. The highest organic soil lithosol material from biochar tobacco is tobacco, corn cob biochar, and biochar mixture of jengkok and compost at certain times. It can also be seen that the highest mediteran soil organic matter from biochar feeding to tobacco and corncob biochar from time to time.

Keywords: rice husk, corn cob, jengkok, litosol, regosol, mediteran

Introduction

The condition of land in Southern Malang Regency is dominated by dry land which naturally has low productivity. South Malang consists of several types of land, such as Litosol, Regosol, and Mediteran. Each type of soil has a different composition at one location with another location. Land is composed of minerals and organic materials that play an important role in providing water and nutrients for the sustainability of plant growth. Inferior organic matter causes poor soil parcels, especially nitrogen also resulting in low soil cation exchange capacity so that soil ability to store low nutrients. Soil material will affect the organic matter and / or soil minerals. As a result of low organic matter, the nutrients both from the weathering of the parent material and from the fertilizer will be easy to wash.

Efforts to improve soil fertility by using biochar and organic fertilizers have been widely practiced. According to Biederman and Harpole. (2013), potentially beneficial long-term carbon sinks such as soil improvement and improved crop growth. Oguntunde et al. (2008); Asai et al. (2009) reported that biochar can improve soil chemical properties (eg pH, CEC, cation) and physical properties (such as groundwater retention and hydraulic conductivity). According to Keiluweit et al. (2010) and Zimmerman. (2010), biochar with temperature and duration of production can show different chemical and physical properties. The characteristics of biochar are influenced by the nature of the raw materials, the pyrolysis temperature, and the process conditions (Manya, 2012). Positive effects of biochar on the most prominent results in tropical soil is very rusty and infertile (Steiner et al., 2007). Research on the characteristics of biochar produced from different feedstocks and the effects of biochar characteristics on several types of land is limited in number. Lehmann et al. (2011) states that biochar amendments may affect soil microbial populations and their activity, the application of biochar levels and soil characteristics itself needs research to monitor the soil response to biochar treatment. The research hypothesis that the biochar species will affect the biochar characteristics as well as give the effect of different organic carbon into the soil let alone applied to

different soil types. The study aims to examine the characteristics of biochar species and organic fertilizers in some soils types against the dynamics of soil organic matter.

RESEARCH METHODS

Soil

Composite 0-30 cm composite sample was taken from dry land in Southern Malang Regency, precisely in Purwodadi Village, Donomulyo Subdistrict, Sukowilangun Village, Kalipare Subdistrict, and Sumberrejo Village, Poncokusumo Subdistrict. Donomulyo District is located at 112 ° 23'30 " - 112 ° 29'64" BT and 8 ° 16'75 " - 8 ° 19'81" LS with soil of Litosol type Entity Order. Ground ground material Litosol of a type of igneous rock or hard sediment that has not undergone a perfect weathering process. The soil is infertile and the productivity is low. Kalipare Sub-district is 21,950 - 29,610 BT and 9,400 - 16,480 LS with Red and Yellow Mediteran land of Afisol Order. Land from Kalipare is not used for agriculture because almost all types of plants can not grow well. Kecamatan Poncokusumo, distance to the district capital approximately 24 km with Regosol land Entisol Order. The soil of Poncokusumo is planted with unfavorable vegetables.

Air dry ground samples at room temperature with moisture content of 0.34 g g⁻¹ (Regosol); 0.5 g g⁻¹ (Litosol); And 0.61 g g⁻¹ (Mediteran). Soil properties were determined using the Soil Laboratory Survey Manual method, (2004). Particle size distribution by pipette method; Soil organic carbon by oxidation with potassium dichromate; Cation exchange capacity by ammonium acetate method, pH by pH meter in aqueous solution.

Biochar Production

Biochar raw materials are produced from rice husks, corncobs, and tobacco industry waste (jengkok). Biochar rice husks and corncobs are produced at 350 - 500°C for 4 hours at the Bioenergy Laboratory of Tribhuwana Tunggal University Malang, Biochar is produced with fixed bed pyrolysis equipment equipped with a separator system connected to the condenser. Biochar jengkok tobacco is produced at 700°C for 10-15 minutes at PT. Gudang Garam, Tbk with ethanol pyrolysis tools. Raw husk raw material from rice milling in Malang and dry corn cob from PT. BISI International Branch of Kediri.

Characterization of biochar and organic fertilizer

Biochar characterization is performed by measuring the physical properties using standard procedures. Physical properties such as bulk density (FCO, 1985), water holding power by AOAC method 19th Ed., 2012, method 969.05; Total C with gravimetric method, particle size (ASTM) with mechanical. Organic fertilizers are analyzed by standard procedures.

Incubation of biochar and organic fertilizer in the soil

The experiments were conducted at the Tribhuwana Tunggal University greenhouse, Malang, Indonesia (7,48 '50 "BS and 112o.37 '41" BT) with daily temperatures varying between 16o-36oC with relative humidity of about 43-86%, and light intensity 365-1997 lux. Treatment consists of 2 factors, first factor is soil type (Regosol, Litosol and Mediteran). The second factor is biochar and organic fertilizer, consisting of 12 treatments. Provision of biochar and organic fertilizer on each soil is repeated three times so that there are 108 pots. Each soil sample was placed into a plastic pot (18 cm in diameter and 25 cm high) and incubated for 98 days. Biochar corncobs are milled for <2 mm, biochar jengkok tobacco and biochar rice husk are applied directly.

3.85 kg of soil mixed with 150 g of biochar or organic fertilizer according to treatment but mixture of biochar (75 g) and organic fertilizer (75 g) by comparison (1: 1) at 4% dry weight level and 1.2 Mg bulk density M3 (similar to field conditions). The weight of soil and biochar and or organic fertilizer of each pot to 4 kg. This is equivalent to the biochar amendment and / or organic fertilizer 9.6 ton ha⁻¹ in a layer of 20 cm. During incubation, groundwater content is maintained at 0.11-0.18 g g⁻¹ (equivalent to 70 - 80% of field capacity) with 1 liter of water added every 21 days. Use 70 - 80% of field capacity to get dry conditions. To assess the effects of changes in biochar and or organic fertilizer on soil organic matter measured at 7, 14, 28, 56 and 98 days incubation.

Statistic analysis

This research uses nested design. Factor 1 (Nest) is a type of soil, namely the land of Regosol, Litosol and Mediteran. Factor 2 (the nested) is biochar and organic fertilizer, namely:

Controls:	Without	S: Biochar rice husk	T: Biochar corn cob	J: Biochar jengkok
-----------	---------	----------------------	---------------------	--------------------

biochar and organic fertilizer			tobacco
SA: Biochar rice husk-chicken manure	SK: Biochar rice husk-compost	TA: Biochar corn cob-chicken manure	TK: Biochar corn cob-compost
JA: Biochar jengkok tobacco-chicken manure	JK: Biochar jengkok tobacco-compost	A: Manure chicken	K: Compost

After analyzed with Two Way ANOVA, followed by DMRT (*Duncan Multiple Range Test*).

RESULTS AND DISCUSSION

Characteristics of soil

Characteristics of each soil type are shown in Table 1. The sandy textured regosol soils have very low organic carbon with a sand fraction of 86%. The soil litosol and mediteran textured clay, respectively 65% and 76%. Soil organic carbon is low (lithosol) and very low (mediteran). All soils have low C/N and acid pH (mediteran and regosol) to slightly acid (litosol).

Table 1. Soil characteristics

Indicator	Litosol	Mediteran	Regosol
pH H ₂ O	6,40	5,30	5,50
pH KCl 1N	6,10	5,00	5,30
C organic (%)	1,36	0,72	0,48
C/N	8	7	7
Sand (%)	11	9	86
Dust (%)	24	15	3
Clay (%)	65	76	11
Texture	Clay	Clay	Sand Clay

Physical characteristics of biochar and organic fertilizer

The physical characteristics of biochar and organic fertilizer are presented in Table 2. Total carbon from corncob biochar > biochar jengkok tobacco > biochar husk. Organic carbon from chicken manure > compost. The lowest carbon content is seen in rice husk biochar which has the highest ash content, otherwise the highest carbon content is seen in corncob biochar which has the lowest ash content. This is in line with Enders et al. (2012) that the relatively high ash content produced by biochar carbon fixed is relatively low, caused by high ash content inhibits carbon formation.

Positive responses of biochar applications are not only related to plant nutrients including toxin neutralization (Wardle et al., 1998); Improve soil physical properties (eg increased water holding capacity) (Iswaran et al., 1980) or reduce soil strength (Chan et al., 2007). The capacity to retain water from biochar and organic fertilizer depends on biomass feedstock. Capacity hold water from biochar rice husk > biochar corn cob > chicken manure > biochar jengkok tobacco > compost. Downie et al. (2009) and Sohi et al. (2010) conveying the surface area and porosity of biochar under different pyrolysis temperatures have significant potential for effects on water holding capacity, adsorption capacity (particle ability to stick to the biochar surface) and nutrient retention capability.

Bulk density biochar rice husk, corncob, and tobacco jengkok each 0.65; 0.27; And 0.31 g cm⁻³. According to Brady and Weil (2004), biochar has a much lower bulk density than mineral soils in the tropics (~ 0.3 Mg m⁻³ for biochar compared to the weight of soil volume of 1.3 Mg m⁻³) so that biochar applications can reduce bulk Density of soil is generally desirable for plant growth. Several different sizes of biochar pores are higher than the pore size of organic fertilizers (Table 2). Mesh grain size 30 and 18 of the jengkok biochar is greater than the tuna biochar but the size of the jengkok biochar particles is smaller than the tuna biochar on mesh 325 and above 60. The particle size of the biochar is produced from pyrolysis of organic material which depends on the nature of the original material. Keiluweit et al. (2010) reported increased porosity (and then surface area) combined with

total carbon reduction and fly substances. Volatil matter from corncob biochar> biochar jengkok tobacco> biochar rice husk.

The effects of using biochar and organic fertilizer on organic materials of some soil types

After the addition of biochar and organic fertilizer to the soil, variations in the characteristics of biochar and organic fertilizer can cause various effects on soil organic matter and soil type. The soil organic matter of regosol, litosol, and mediteran after treatment is presented in Table 3 - 4. The treatment significantly affected soil organic matter on the 7th day until the 98th. Soil type has significant effect to soil organic matter. Biochar and organic fertilizer on soil type have a significant effect on soil organic matter. Biochar and organic fertilizer on each soil type significantly influence soil organic matter (significant value $<\alpha$ (= 0.05).

Table 2. Characteristics of biochar and organic fertilizer

Indicator	Biochar and organic fertilizer				
	Biochar rice husk	Biochar corn cobs	Biochar jengkok tobacco	Chicken manure	Compost
Water Holding Capacity (%)	326,04	249,6	143,7	213,38	111,68
Volatile matter (%)	42	75	66		
Ash (%)	53,4	23,6	32,8		
Bulk Density (g cm ⁻³)	0,65	0,27	0,31		
Particle Size (%)					
- Mesh 325 (0,044 mm)	2,7	0,8	0,55	0,15	0,2
- Mesh >60 (0,250 mm)	16,75	14,25	4,9	3,05	7,6
- Mesh Grain Size 30 (0,595 mm)	42,6	54,2	79,9	10,55	22
- Mesh 18 (1,00 mm)	68,15	70,8	94,9	20,95	36,2
Total C (%)	29,8	45,6	40		
Organic C (%)				25,02	15,58

Changes in organic carbon will affect soil fertility. The use of biochar and organic fertilizer increases the soil organic matter from day 7 to day 98 on three soil types. The soil organic matter content varies greatly up and down in every observation day. Soil organic matter from biochar treatment is higher than organic fertilizer. Biochar jengkok tobacco mixed with compost increased the soil organic matter lithosol 7-14 days after incubation but the compost mixed corn biochar increased the organic matter of soil regosol on day 98. Biochar is a charcoal made with the purpose to be applied to the soil. Biochar is often claimed to have several potential benefits, including carbon sequestration (Laird, 2008).

Each soil type shows different levels of soil organic matter although with the same treatment. Soil organic matter litosol is higher than mediteran in all observations although both soils have the same texture (clay). This corresponds to the initial soil organic matter of lithosol (1.36%) greater than the mediterane (0.72%). The highest soil organic matter lithosol from the treatment of biochar jengkok tobacco which is not different with biochar jengkok tobacco mixed with compost and chicken manure. The highest soil organic matter is 3.56 - 3,98% (litosol); 1.3 - 2.1% (mediterranean); And 0.97 - 1.85% (regosol) (Table 3). Use of different types of biochar and organic fertilizer has not shown any significant difference in soil organic matter regosol on the 7th day but not on the 14th day. This indicates that the soil organic matter rises sharply on day 14 (0.94 - 2.5%). However, mediteran soil organic matter from mixed treatment of biochar and organic fertilizers tended to be better than just biochar on day 7 (Table 3).

After 14 days, the highest soil organic matter from biochar treatment is tobacco (regosol), corn cob biochar which is not different from the mixture of tobacco and compost (litosol) jar biochar, and the tobacco juvenile biochar which is not different from corn cob (mediteran) biochar. It has been reported that biochar increases the percentage of organic carbon in various soils but the exact

nature of this component is still not well understood (Zimmerman, 2010). Total carbon from corn and tobacco cobs, respectively 46% and 40% higher than other treatments. High levels of soil organic carbon accumulation due to biochar amendments can increase N efficiency and increase crop productivity (Pan et al., 2009).

The highest soil organic matter from the treatment of tobacco biochar jengkok (regosol and mediteran) and corn cob biochar (litosol) on the 28th day and 56 (Table 4). Possible influence of C/N ratio and pH on decomposition of organic matter. The C/N ratio of both soils is the same (7) whereas the regosol soil pH (5.5) and the mediteranean (5.3) tend to be acidic so that the highest biochar treatment is jengkok to increase the organic matter in both soil types (regosol and mediteran). The clay content of the lithosol soil is lower than the mediterranean. The ability of the soil to hold water lies in the clay content. The water holding capacity of corncob biochar (249.6%) was higher than that of jengkok biochar (143.7%). Increasing the water-holding capacity of biochar can increase the soil's capacity to retain water so that biochar can retain water in the soil lithosol so that its reactivity increases, both microbes to multiply and for various elements and other compounds and soil moisture for decomposition rate.

Table 4 shows the highest soil organic matter on corn and compost biochar mixture (regosol), tobacco juvenile biochar (litosol), and corn cob biochar which is not significantly different from the mediterranean tobacco biochar at the end of observation (day 98). The soil organic matter lithosol from rice husk biochar treatment increased from 2.5% to 2,8 - 2,9% if biochar husk mixed with organic fertilizer (chicken manure and compost manure).

Observation day 98 shows the organic matter of soil regosol which increased 2 - 2,4 times if corn cob biochar mixed with organic fertilizer (compost or chicken manure). In contrast, the organic matter of lithosol and mediterranean soils decreased by 1.3 to 1.5 times if the biochar of cob was mixed with organic fertilizer. Similarly, the soil organic matter of lithosol and the mediterane decreased by 1,1 - 1,4 times if biochar jengkok tobacco was used with organic fertilizer.

Biochar jengkok tobacco applied to regosol showed the highest organic material until day 28 and will increase if mixed with chicken manure manure on the 56th day, then decreased until day 98. Soil organic matter litosol tends to continue to increase sharply until the 28th day of corncob biochar treatment, then further decreased until day 98. Not so if using biochar jengkok tobacco. Soil organic matter litosol does not experience a sharp rise up or down from time to time from biochar treatment of tobacco jengkok. In contrast, if the biochar of jengkok tobacco is mixed with compost, the soil organic matter of lithosol increases and decreases on the 14th day until the 28th day, then relatively the same until day 98. Biochar can alter the physical properties of soils such as structure, pore size and density distribution, with implications for soil aeration, water holding capacity, plant growth, and soil treatment (Downie et al., 2009). Evidence suggests that biochar application into the soil may increase overall soil surface area (Chan et al., 2007) and consequently can increase ground water and nutrient retention (Downie et al., 2009) and aeration of soil especially in fine textured soils (Kolb , 2007).

The mediteran soil organic matter was higher in the biochar treatment of the tobacco jengkok compared to other treatments until day 98. Soil organic matter litosol increased until day 14, then decreased steadily until day 98.

Conclusion

- The highest increase in soil organic matter for clay textured soil is gained after the application of biochar jengkok or corn cob biochar while biochar jengkok or corn cob biochar mixture and compost are best applied for the sandy soil.
- The highest regosol soil organic material from the tobacco jengkok biochar on the 14th to the 56th day, then from the corn cob mixed biochar mixture and the compost on day 98.
- The highest lithosolic soil organic matter from the biochar application of tobacco tobacco, corncob biochar, and biochar mixture of jengkok and compost at certain times.
- The highest mediteran soil organic matter is resulted by the application of biochar to tobacco and corncob biochar over a period of time.

ACKNOWLEDGMENT

Thanks to The Ministry of Higher Education, Technology and Research which has funded the Superior Research of Higher Education in 2017.

REFERENCES

- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, and Horie T (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111, pp. 81–84.
- Biederman, LA and Harpole S (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Journal of Global Change Biology*. 5. pp. 202–214.
- Brady NC and Weill RR (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils* 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River NJ. pp. 111–112.
- Chan KY, Van Zeeuwen L, Meszaros I, Downie A and Joseph S (2007). Assessing the agronomic values of contrasting char materials on Australian hardsetting soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*. Australia, Terrigal NSW.
- Downie A, Crosky A and Munroe P (2009). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management science and technology* Eds. J Lehmann and S Joseph. Earthscan, London. Sterling VA, pp. 13–32.
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S and Lehmann J (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Journal of Bioresource Technology*. 114, pp. 644–53.
- FCO [Fertilizer Control Order] (1985). Fertilizer Association of India. New Delhi. p. 202.
- Iswaran V, Jauhri KS and Sen A (1980). Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea. *Journal of Soil Biol Biochemistry*. 12, pp. 191–192.
- Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG and Kleber M (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1247–1253.
- Kolb TE, Agee JK, Fule PZ, McDowell NG, Pearson K, Sala A and Waring RH (2007). Perpetuating old ponderosa pine. *Journal of Forest Ecology and Management*. 249, pp. 141–157.
- Laird, DA (2008). The Charcoal Vision: A Win Win Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Journal of Agronomy*. 100, pp. 178–181.
- Lehmann J, Matthias C, Rillig, Janice T, Caroline A, Masiello, William CH and Crowley D (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*. 43, pp. 1812–1836.
- Manya JJ (2012). Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. *Journal of Environ Sciences Technology*. 46, pp. 7939 – 7954.
- Oguntunde PG, Abiodun BJ, Ajayi AE and Van de Giesen N (2008). Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science*. 171, pp. 591–596.
- Pan GX, Zhou P, Li ZP, Smith P, Li LQ, Qiu DS, Zhang XH, Xu XB, Shen SY and Chen XM (2009). Combined inorganic or organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Journal of Agriculture Ecosystem Environmental*. 131, pp. 274–280.
- Sohi SP, Krull E, Lopez CE and Bol R (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, De Mace^ do JLV, Blum WEH and Zech W (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Journal of Plant and Soil*. 291, pp. 275–290.
- Wardle DA, Zackrisson O and Nilsson MC (1998). The charcoal effect in boreal forests: Mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*. 115, pp. 419–426.
- Zimmerman AR (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1295–1301.

Table 3. Soil organic matter on each soil type after incubation day 7 and 14

Type of biochar and organic fertilizer	day 7			day 14		
	Regosol	Litosol	Mediterranean	Regosol	Litosol	Mediterranean
Control	0.758 ±0.067 a	1.590 ±0.018 a	1.127 ±0.000 a	0.724 ±0.068 a	1.598 ±0.011 a	1.057 ±0.069 a
S	1.119 ±0.001 ab	1.891 ±0.065 ab	1.334 ±0.307 ab	1.303 ±0.087 e	2.348 ±0.209 b	1.879 ±0.055 c
T	1.415 ±0.282 ab	3.169 ±0.470 ef	1.631 ±0.148 abc	1.505 ±0.138 f	4.467 ±0.150 e	3.433 ±0.037 g
J	1.849 ±0.269 b	3.981 ±0.494 g	1.581 ±0.161 abc	2.486 ±0.173 i	3.988 ±0.031 d	3.404 ±0.078 g
SA	1.476 ±0.005 ab	2.596 ±0.139 cd	1.945 ±0.144 c	1.032 ±0.022 bc	2.245 ±0.136 b	1.685 ±0.024 b
SK	0.974 ±0.141 ab	2.245 ±0.276 bcd	1.673 ±0.278 abc	1.085 ±0.037 cd	2.775 ±0.158 c	1.656 ±0.060 b
TA	1.469 ±0.133 ab	2.654 ±0.141 d	1.723 ±0.492 bc	1.201 ±0.042 de	2.728 ±0.025 c	2.588 ±0.345 f
TK	1.800 ±0.000 b	2.099 ±0.419 bc	1.938 ±0.141 c	1.823 ±0.040 g	3.010 ±0.090 d	1.926 ±0.010 cd
JA	1.690 ±0.281 b	3.780 ±0.370 g	2.099 ±0.556 c	1.638 ±0.075 f	2.889 ±0.032 c	2.236 ±0.051 e
JK	1.693 ±0.154 b	3.559 ±0.639 fg	2.109 ±0.365 c	1.906 ±0.140 h	4.647 ±0.061 e	2.583 ±0.010 f
A	1.414 ±0.281 ab	2.684 ±0.162 de	2.021 ±0.162 c	1.299 ±0.051 e	2.267 ±0.036 b	2.099 ±0.026 d
K	1.400 ±0.311 ab	2.436 ±0.570 cd	1.612 ±0.321 abc	0.940 ±0.044 b	3.130 ±0.157 c	1.793 ±0.025 bc

* Different notations show differences between biochar types and organic fertilizers in each soil type.

** DMRT test with = 5%

Table 4. Soil organic matter on each soil type after incubation day 28, 56, and 98

Type of biochar and organic fertilizer	day 28			day 56			day 98		
	Regosol	Litosol	Mediterranean	Regosol	Litosol	Mediterranean	Regosol	Litosol	Mediterranean
Control	0.859 ±0.026 a	1.598 ±0.011 a	1.202 ±0.075 a	0.871 ±0.024 a	1.598 ±0.011 a	1.057 ±0.069 a	0.865 ±0.062 a	1.655 ±0.203 a	1.094 ±0.148 a
S	1.267 ±0.199 bc	2.624 ±0.030 d	1.990 ±0.031 c	1.052 ±0.030 bc	2.366 ±0.036 c	1.782 ±0.017 d	1.260 ±0.087 cd	2.491 ±0.035 b	1.754 ±0.039 bc
T	1.966 ±0.020 e	5.004 ±0.088 i	2.870 ±0.062 f	1.580 ±0.020 e	4.523 ±0.340 g	2.240 ±0.026 e	1.426 ±0.105 de	3.270 ±0.017 d	2.553 ±0.053 g
J	3.042 ±0.040 f	4.143 ±0.029 h	3.368 ±0.021 g	2.792 ±0.043 g	3.807 ±0.017 f	3.083 ±0.057 g	1.405 ±0.027 de	4.037 ±0.608 e	2.641 ±0.082 g
SA	1.187 ±0.052 bc	2.724 ±0.045 de	1.539 ±0.035 b	0.937 ±0.014 ab	1.794 ±0.036 b	1.593 ±0.065 d	0.983 ±0.050 ab	2.752 ±0.018 c	2.189 ±0.039 e
SK	1.142 ±0.087 b	2.913 ±0.009 f	1.380 ±0.222 b	1.266 ±0.013 cd	1.870 ±0.018 b	1.298 ±0.085 b	2.024 ±0.063 f	2.874 ±0.047 c	1.847 ±0.049 cd
TA	1.509 ±0.068 d	3.247 ±0.066 b	1.528 ±0.020 b	1.097 ±0.026 bc	1.990 ±0.045 b	1.121 ±0.041 a	2.890 ±0.090 g	2.625 ±0.027 b	1.689 ±0.043 bc
TK	1.650 ±0.513 d	2.854 ±0.045 ef	1.995 ±0.038 c	1.247 ±0.016 d	2.520 ±0.098 c	1.674 ±0.087 d	3.424 ±0.037 h	2.330 ±0.044 b	2.001 ±0.044 e
JA	1.906 ±0.027 e	2.448 ±0.037 c	2.232 ±0.017 d	3.252 ±0.052 h	3.252 ±0.052 e	2.647 ±0.096 e	1.647 ±0.108 e	3.437 ±0.027 d	2.482 ±0.054 f
JK	1.888 ±0.010 e	3.532 ±0.027 g	2.453 ±0.023 e	2.044 ±0.014 f	3.291 ±0.101 e	2.476 ±0.014 f	1.414 ±0.025 d	3.448 ±0.020 d	1.920 ±0.200 d
A	1.332 ±0.034 c	2.241 ±0.023 b	1.949 ±0.026 c	1.110 ±0.013 cd	3.021 ±0.112 d	1.634 ±0.030 d	1.105 ±0.018 b	2.594 ±0.017 b	1.509 ±0.035 b
K	1.228 ±0.050 bc	2.654 ±0.240 d	1.960 ±0.020 c	1.100 ±0.021 cd	2.922 ±0.060 d	1.410 ±0.026 c	1.217 ±0.036 c	2.933 ±0.033 c	1.870 ±0.203 c

* Different notations show differences between biochar types and organic fertilizers in each soil type.

** DMRT test with = 5

Dinamika Nitrogen Selama Inkubasi Biochar dan Pupuk Organik Pada Berbagai Jenis Tanah

Widowati, Sutoyo, Hidayati Karamina
Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang
Email: widwidowati@gmail.com

Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi perubahan N dalam tanah adalah bahan organik. Bahan organik merupakan bagian dari tanah yang dinamis. Pemberian bahan organik sangat penting untuk meningkatkan ketersediaan hara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap dinamika kadar N total pada jenis tanah yang tidak subur dan produktivitasnya rendah. Penelitian inkubasi dilakukan di rumah kaca dengan menggunakan rancangan tersarang. Faktor 1 (Nest) adalah jenis tanah yang diambil dari agroekosistem lahan kering, yaitu tanah Regosol, Litosol dan Mediteran. Faktor 2 (yang tersarang) adalah biochar dan pupuk organik dalam 12 perlakuan, yaitu: kontrol (tanpa biochar maupun pupuk organik), S (biochar sekam padi), T (biochar tongkol jagung), J (biochar jengkok tembakau), SA (biochar sekam padi-kandang kotoran ayam), SK (biochar sekam padi-kompos), TA (biochar tongkol-kandang kotoran ayam), TK (biochar tongkol-kompos), JA (biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam), JK (biochar jengkok tembakau-kompos), A (pupuk kandang kotoran ayam), K (kompos). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap kadar N total pada berbagai umur pengamatan. Inkubasi kombinasi biochar jengkok dan kompos pada Litosol meningkatkan kadar N total hingga 14 hari dibanding perlakuan lainnya. Inkubasi biochar jengkok pada Regosol meningkatkan kadar N hingga 42 hari dibanding pupuk kandang ayam (7 hari), tetapi kompos pada Mediteran meningkatkan kadar N sampai 42 hari dibanding perlakuan lainnya.

Kata kunci: kompos, pupuk kandang, Mediteran, Litosol, Regosol.

PENGANTAR

Pada umumnya tanaman membutuhkan N dalam jumlah banyak dan seringkali menjadi faktor pembatas bagi tanah yang tidak subur. Oleh karenanya pemberian pupuk N menjadi salah satu keutamaan bagi tanaman karena Nitrogen merupakan bagian penting untuk klorofil dan bahan dasar protein. Nitrogen dapat berasal dari perombakan bahan organik dan banyaknya N di dalam tanah tergantung dari kondisi tanah. Di dalam tanah bahan organik dapat mengalami dekomposisi dan mineralisasi N organik menjadi N yang tersedia bagi tanaman.

Bahan organik sangat bervariasi, termasuk biochar dan pupuk organik. Biochar adalah berpori karbon padat yang dihasilkan oleh konversi termokimia (pirolisis) dari biomassa dalam suasana oksigen rendah. Komposisi nutrisi biochar tergantung pada bahan baku yang

digunakan dan kondisi pirolisis. Jenis bahan baku yang digunakan selama pirolisis memiliki pengaruh pada karakteristik biochar (Gaskin *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012; Spokas *et al.*, 2012a). Gaskin *et al.* (2008) menunjukkan bahwa jumlah N total dari bahan baku ke biochar berkisar antara 27,4-89,6% pada masing-masing biochar kotoran unggas dan kayu pinus. Biochar berbasis tanaman sering memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah (Cantrell *et al.*, 2012) dibandingkan dengan biochar berbasis kotoran hewan. Konsentrasi N di biochar yang banyak seperti dalam pupuk disebabkan kandungan protein yang tinggi dalam bahan baku (Tsai *et al.*, 2012). Bersamaan dengan hal itu, biochar nabati cenderung bertindak sebagai sumber langsung dari unsur hara (Cantrell *et al.*, 2012). Di sisi lain, biochar pupuk kandang lebih cocok untuk memasok unsur hara setelah aplikasi ke dalam tanah. Lang *et al.* (2005) memantau perubahan kandungan C, H, O, S dan N dari berbagai bahan organik, yaitu empat biomassa kayu, empat biomassa herba dan dua batubara di bawah pirolisis pada 275-1100°C. Semua jenis biomassa kehilangan setidaknya setengah dari N sebagai volatil dengan 400°C. Selama pirolisis limbah lumpur, kandungan N total menurun dari 3,8% pada 400°C menjadi 0,94% pada 950°C karena kehilangan bahan organik yang mudah menguap (Bagreev *et al.*, 2001). Demikian pula, Shinogi (2004) melaporkan reduksi N total di biochar dari lumpur limbah dari 5,0% pada 400°C menjadi 2,3% pada 800°C. Namun DeLuca *et al.* (2009) menjelaskan secara umum biochar lebih penting untuk perbaikan tanah dan transformasi hara, serta kurang berarti sebagai sumber utama nutrisi.

Kunci kesuburan tanah terletak pada kadar bahan organik tanah. Kadar bahan organik tanah yang rendah menyebabkan penyediaan hara rendah dan mengakibatkan rendahnya serapan hara oleh tanaman. Bahan organik yang ditambahkan ke tanah dapat meningkatkan penyediaan hara bagi tanaman dan mengurangi penggunaan pupuk anorganik. Nitrogen sebagai unsur hara esensial dari sebagian besar tanaman, yang salah satu sumbernya dari bahan organik. Perubahan N pada setiap jenis tanah dari pemberian jenis biochar dan pupuk organik menjadi fenomena yang menarik untuk dipelajari sehingga perlu dilakukan penelitian tentang bagaimana dinamika kadar N total dari berbagai jenis tanah setelah diberi biochar dan pupuk organik selama waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh jenis biochar dan pupuk organik terhadap dinamika kadar N total pada jenis tanah yang tidak subur dan produktivitasnya rendah.

2. METODE PENELITIAN

Percobaan inkubasi dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang. Perlakuan terdiri atas 2 faktor, faktor pertama adalah jenis tanah (Regosol, Litosol dan Mediteran). Faktor kedua adalah jenis biochar dan pupuk organik, terdiri atas 12 perlakuan, yaitu: Kontrol (tanpa biochar maupun pupuk organik), S (biochar sekam padi), T (biochar tongkol jagung), J (biochar jengkok tembakau), SA (biochar sekam padi-kandang kotoran ayam), SK (biochar sekam padi-kompos), TA (biochar tongkol-kandang kotoran ayam), TK (biochar tongkol-kompos), JA (biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam), JK (biochar jengkok tembakau-kompos), A (pupuk kandang kotoran ayam), K (kompos). Perlakuan diulang tiga kali sehingga terdapat 108 pot.

Sampel tanah komposit 0-30 cm diambil dari lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan, tepatnya di Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo (tipe Litosol Ordo Entisol), Desa Sukowilangun Kecamatan Kalipare (tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Afisol), dan Desa Sumberrejo Kecamatan Poncokusumo (tanah Regosol Ordo Entisol). Sampel tanah kering udara pada suhu kamar dengan kadar air $0,34 \text{ g g}^{-1}$ (Regosol); $0,5 \text{ g g}^{-1}$ (Litosol); dan $0,61 \text{ g g}^{-1}$ (Mediteran). Setiap sampel tanah ditempatkan ke dalam pot plastik (diameter 18 cm dan tinggi 25 cm). Tanah sebanyak 3,85 kg dicampur dengan 150 g biochar atau pupuk organik sesuai perlakuan tetapi campuran biochar (75 g) dan pupuk organik (75 g) dengan perbandingan (1:1) pada tingkat 4% berat kering dan *bulk density* $1,2 \text{ Mg m}^3$ (mirip dengan kondisi lapangan). Bobot tanah dan biochar dan atau pupuk organik setiap pot menjadi 4 kg. Ini setara dengan amandemen biochar dan atau pupuk organik $9,6 \text{ ton ha}^{-1}$ dalam lapisan olah 20 cm. Selama inkubasi, kadar air tanah dipertahankan pada $0,11 - 0,18 \text{ g g}^{-1}$ (ekivalen dengan 70 - 80% dari kapasitas lapangan) dengan penambahan air 1 liter setiap 21 hari. Penggunaan 70 - 80% dari kapasitas lapangan untuk mendapatkan kondisi kering.

Bahan baku biochar dihasilkan dari sekam padi, tongkol jagung, dan limbah industri tembakau (jengkok). Biochar sekam padi dan tongkol jagung diproduksi pada suhu $350 - 500^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam di Laboratorium Bioenergi Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang, Biochar tersebut diproduksi dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan sistem separator yang tersambung dengan kondensor. Biochar jengkok tembakau diproduksi pada suhu 700°C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis extrusion Etia. Bahan baku sekam padi kering dari penggilingan padi komersial yang memproses beras dan tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling untuk $< 2 \text{ mm}$, biochar jengkok tembakau dan biochar sekam padi langsung diaplikasi.

Untuk menilai efek dari perubahan biochar dan atau pupuk organik pada dinamika kadar N total tanah diukur pada 7, 14, 28, 56, dan 98 hari inkubasi.

Penelitian ini menggunakan nested design. Faktor 1 (Nest) adalah jenis tanah, yaitu tanah Regosol, Litosol dan Mediteran. Faktor 2 (yang tersarang) adalah biochar dan pupuk organik dari 12 perlakuan. Setelah dianalisis dengan Two Way ANOVA, dilanjutkan dengan DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) dengan $\alpha=5\%$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar nitrogen di dalam tanah bervariasi dengan perlakuan. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (Regosol, Mediteran, Litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar N tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar N tanah pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 2-6. Variasi dalam sifat fisiko-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan nutrisi dalam biochar. Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6% ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800°C (Bagreev *et al.*, 2001).

Tabel 1. Hasil analisis nested design kadar N tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Inkubasi Hari 7

Pada inkubasi 7 hari, perlakuan pupuk kandang ayam telah meningkatkan kadar N tanah Regosol sebanyak 2 kali lebih tinggi dari 0,08% menjadi 0,19% sedangkan pada Litosol hampir 4 kali lebih tinggi dari 0,14% menjadi 0,51%. Kadar N dari perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang) meningkat hampir 2 kali lebih tinggi. Kandungan N dari pupuk kandang (4,05%)

tertinggi selanjutnya diikuti kompos (2,6%) dan biochar jengkok (1,83%). Kenaikan kadar N tanah Regosol dan Litosol berlangsung pada 7 hari, sementara itu belum terjadi pada tanah Mediteran. Kenaikan kadar N tanah Mediteran terjadi pada 14 hari inkubasi dengan perlakuan kompos. Tektur tanah merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat N mineralisasi dari dekomposisi bahan organik. Regosol dan Litosol dari Ordo Entisol yang memiliki aerasi tanah (kadar oksigen) yang lebih baik sehingga pelepasan N juga lebih cepat.

Hari 14

Hasil penelitian tentang dampak menambahkan biochar pada N mineralisasi dinamika dua pupuk organik dengan menginkubasi tanah lempung berpasir selama 133 hari dalam kondisi yang terkendali menunjukkan bahwa setelah hari ke-14, N mineral tanah didominasi oleh nitrat dalam semua perlakuan (Tammeorg *et al.*, 2012). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa inkubasi 14-28 hari, kadar N total meningkat 2 kali lebih tinggi dari perlakuan biochar jengkok pada Regosol. Pada inkubasi 14 hari, kadar N hampir 2 kali lebih tinggi pada perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur kompos pada Litosol dibanding kontrol. Banyaknya N yang dikandung dalam biochar menentukan kemampuan tanah meningkatkan kadar N dalam tanah. Kandungan N dari biochar jengkok (1,83%) lebih tinggi dari biochar sekam dan biochar tongkol, masing-masing 0,57% dan 0,51%. Sementara itu kadar N total dari Regosol, Litosol, dan Mediteran masing-masing 0,07%; 0,17%; dan 0,10%.

Hal yang sama terjadi pada perlakuan biochar tongkol jagung pada Litosol dan Mediteran. Khususnya Mediteran, kadar N tertinggi dari pemberian kompos pada inkubasi 14 hari (Tabel 3). Hal ini menunjukkan kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik.

Hari 28

Hingga 28 hari inkubasi, kadar N tanah Litosol tertinggi pada biochar jengkok yang dicampur kompos selanjutnya diikuti dengan yang dicampur pupuk kandang maupun biochar tongkol. Kadar N tanah Mediteran tertinggi pada perlakuan pupuk kandang yang dicampur biochar sekam maupun biochar jengkok. Hasil yang sama juga pada pemberian kompos (Tabel 4). Perlakuan campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah Litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Hari 56

Pemberian biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik menunjukkan kadar N tanah Regosol tertinggi. Kemampuan biochar jengkok lebih lama dalam meningkatkan kadar N tanah Regosol, sejak inkubasi hari ke-14 hingga hari ke-56. Tidak demikian dengan peningkatan kadar N tanah Regosol dengan pupuk kandang ayam yang hanya terjadi pada inkubasi 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar N tanah Regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Namun kadar N tanah Litosol tertinggi pada pemberian pupuk kandang, selanjutnya diikuti oleh biochar jengkok maupun kompos. Kadar N tanah Mediteran tertinggi dari perlakuan kompos yang diikuti oleh perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur pupuk kandang (Tabel 5). Peningkatan kadar N tanah Mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Hari 98

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, dinamika kadar N dalam tanah ditunjukkan pada Gambar 1,2,3. Perubahan kadar N cenderung meningkat, menurun, ataupun tidak berubah sangat berkaitan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Proses laju dekomposisi dipengaruhi oleh faktor bahan organik dan tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Kadar N cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang yang melonjak turun pada 14 hari (Litosol). Penurunan kadar N dari pupuk kandang ayam mulai menurun setelah 14 hari inkubasi, mungkin karena biomassa mikroba. Sebagai aturan umum, imobilisasi N setelah pemberian biochar adalah fenomena sementara, sebagai bagian dari C tersedia untuk asimilasi mikroba digunakan setelah beberapa bulan meninggalkan biochar yang sangat resisten untuk interaksi mikroba jangka panjang (Novak *et al.*, 2010; Nelson *et al.*, 2011). Aplikasi biochar ke tanah dapat meningkatkan aktivitas mikroba tanah dengan menyediakan air, nutrisi dan habitat bagi mikroorganisme (Warnock *et al.*, 2007) dan merangsang dekomposisi bahan organik tanah asli (Wardle *et al.*, 2008). Selain itu, degradasi biochar menyediakan sumber C sebagian labil untuk mikroba (Cheng *et al.*, 2008).

Kadar N meningkat pada 14 hari dan cenderung tetap sampai 98 hari (Mediteran). Kadar N cenderung tetap sampai 56 hari dan pada 98 hari menunjukkan tidak berubah ataupun meningkat kecuali pupuk kandang yang melonjak turun dan biochar jengkok yang melonjak naik pada 14 hari (Regosol). Pada akhir inkubasi (Tabel 6), kadar N tanah tertinggi pada biochar tongkol dicampur pupuk kandang (Regosol). Biochar jengkok dicampur pupuk kandang tertinggi pada Litosol dan Mediteran. Menurut Tammeorg *et al.* (2012), ketika

biochar diterapkan bersama-sama dengan pupuk organik, efek biochar ditambahkan ke tanah pada dinamika N mineralisasi sangat tergantung pada rasio C: N pupuk.

4. KESIMPULAN

Inkubasi kombinasi biochar jengkok dan kompos pada Litosol meningkatkan kadar N total hingga 14 hari dibanding perlakuan lainnya. Inkubasi biochar jengkok pada Regosol meningkatkan kadar N hingga 42 hari dibanding pupuk kandang ayam (7 hari), tetapi kompos pada Mediteran meningkatkan kadar N sampai 42 hari dibanding perlakuan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kemenristek-Dikti yang telah menyediakan dana Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, PT Gudang Garam, Tbk yang telah menyediakan biochar jengkok tembakau, dan PT Bisi Internasional Kediri yang telah menyediakan tongkol jagung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagreev, A, Bandosz, TJ & Locke, DC., 2001. Pore structure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer, *Carbon* 39: 1971–1979.
- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. and Ro, K. S., 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar, *Bioresource Technology*, vol 107, pp 419–428.
- Cheng, C., Lehmann, J., Thies, J. E. & Burton, S. D., 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research*. 113.
- DeLuca, T.H., Derek, M., MacKenzie, J. And Gundale, M.J., 2009. Biochar effect on soil nutrient transformation. *Earthscan Publisher*. pp 251-270.
- Gaskin, J.W., Steiner, C, Harris, K, Das KC, Bibens, B., 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the Asabe*. 51, pp 2061–2069.
- Lang, T, Jensen, AD & Jensen, PA., 2005. Retention of organic elements during solid fuel pyrolysis with emphasis on the peculiar behavior of nitrogen, *Energy and Fuels* 19: 1631–1643.
- Novak J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Laird, D.A., Ahmedna, M.A., Niandou, M. A. S. 2010. Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a Typic Kandiudult. *Geoderma* 154: 281-288.
- Nelson, N. O., Agudelo, S. C., Yuan, W. and Gan, J., 2011. Nitrogen and Phosphorus Availability in Biochar-Amended Soils. *Soil Science* 176: 218-226.
- Tammeorg, P., Tero, B., Asko, S., Juha H., 2012. Nitrogen mineralization dynamics of meat bone meal and cattle manure as affected by the application of softwood chips biochar in soil. *Maataloustieteen Päivät*. www.smts.fi
- Shinogi, Y., 2004. Nutrient leaching from carbon products of sludge, ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper number 044063, Ottawa, Ontario, Canada.
- Spokas, K. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., Archer, D. W., Ippolito, J. A., Collins, H. P., Boateng, A. A., Lima, I. M., Lamb, M. C., McAloon, A. J., Lentz, R. D. and Nichols,

- K. A., 2012a. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *Journal of Environmental Quality*, vol 41, pp 973–989.
- Wardle, D.A., Nilsson, M.C., Zackrisson, O., 2008. Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science* 320, 629.
- Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., Rillig, M. C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms. *Plant and Soil* 300: 9-20.
- W.T. Tsai, S.C. Liu, H.R. Chen, Y.M. Chang, Y.L. Tsai, 2012. Textural and chemical properties of swine-manure-derived biochar pertinent to its potential use as soil amendment, *Chemosphere* 89: 198–203.

Tabel 2. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari dan 14 hari

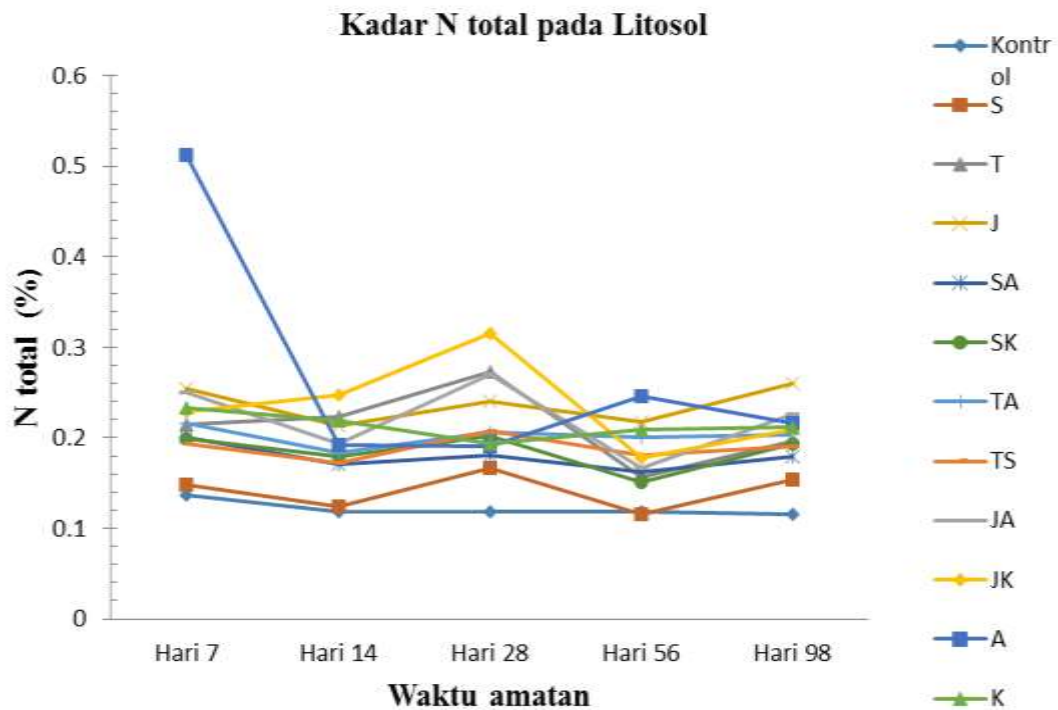
Perlakuan	inkubasi 7 hari									inkubasi 14 hari								
	Regosol			Litosol			Mediteran			Regosol			Litosol			Mediteran		
	Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev	
Kontrol	0.079	0.002	a	0.136	0.012	a	0.103	0.006	a	0.073	0.000	a	0.118	0.007	a	0.093	0.000	a
S	0.094	0.006	ab	0.148	0.010	a	0.101	0.002	a	0.117	0.021	b	0.124	0.006	a	0.135	0.000	b
T	0.109	0.005	ab	0.215	0.014	ab	0.127	0.012	a	0.115	0.013	b	0.224	0.013	d	0.206	0.003	d
J	0.113	0.011	ab	0.254	0.018	b	0.124	0.003	a	0.159	0.030	c	0.234	0.000	d	0.194	0.016	d
SA	0.123	0.005	ab	0.200	0.011	ab	0.132	0.008	a	0.121	0.018	b	0.170	0.011	b	0.126	0.004	b
SK	0.102	0.002	ab	0.199	0.004	ab	0.129	0.010	a	0.092	0.008	ab	0.180	0.004	b	0.113	0.007	ab
TA	0.122	0.014	ab	0.217	0.008	ab	0.114	0.027	a	0.095	0.012	ab	0.184	0.012	b	0.162	0.023	c
TS	0.105	0.010	ab	0.194	0.014	ab	0.132	0.002	a	0.107	0.009	ab	0.173	0.010	b	0.115	0.004	ab
JA	0.124	0.006	ab	0.251	0.016	b	0.118	0.011	a	0.112	0.007	b	0.194	0.024	bc	0.123	0.006	b
JK	0.129	0.003	ab	0.229	0.022	b	0.130	0.020	a	0.126	0.022	b	0.248	0.047	d	0.117	0.005	ab
A	0.185	0.011	b	0.513	0.298	c	0.136	0.026	a	0.126	0.021	b	0.193	0.010	bc	0.217	0.005	de
K	0.124	0.008	ab	0.233	0.011	b	0.144	0.034	a	0.101	0.026	ab	0.219	0.004	cd	0.245	0.029	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

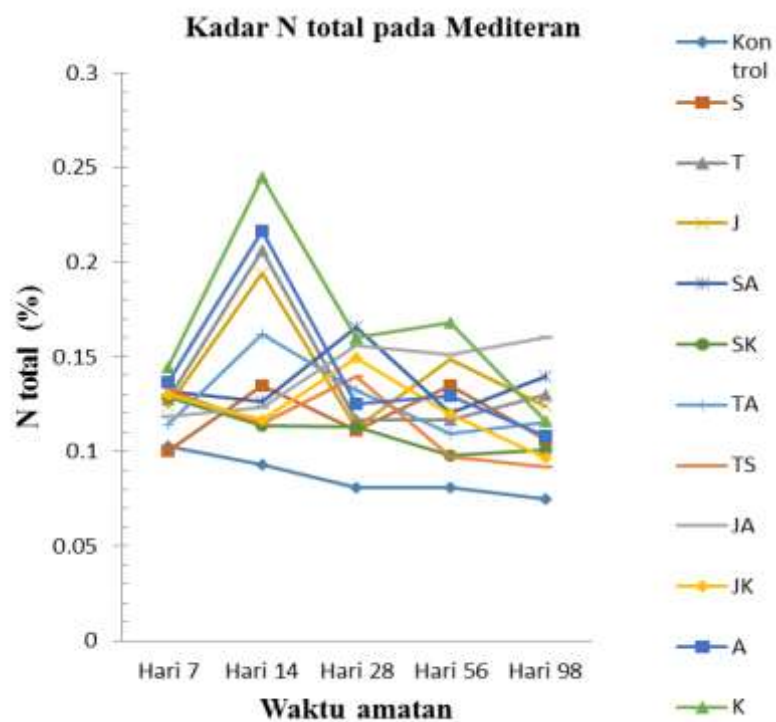
Tabel 3. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari, 56 hari, dan 98 hari

Perlakuan	inkubasi hari 28									inkubasi hari 56									inkubasi hari 98								
	Regosol			Litosol			Mediteran			Regosol			Litosol			Mediteran			Regosol			Litosol			Mediteran		
	Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev		Rata-rata	St dev	
Kontrol	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a	0.069	0.014	a	0.115	0.005	a	0.075	0.018	a
S	0.081	0.007	a	0.167	0.010	b	0.111	0.007	b	0.085	0.005	b	0.116	0.005	a	0.135	0.005	cd	0.098	0.007	b	0.154	0.005	b	0.106	0.015	bc
T	0.125	0.023	de	0.274	0.035	e	0.116	0.006	bc	0.095	0.005	b	0.157	0.006	b	0.116	0.006	b	0.097	0.006	b	0.196	0.005	cd	0.130	0.010	e
J	0.140	0.005	e	0.241	0.006	d	0.112	0.000	b	0.128	0.007	c	0.218	0.017	d	0.149	0.010	de	0.099	0.002	b	0.260	0.010	g	0.124	0.005	de
SA	0.090	0.015	b	0.181	0.006	b	0.165	0.017	e	0.092	0.007	b	0.162	0.007	bc	0.120	0.010	bc	0.096	0.005	b	0.179	0.009	c	0.140	0.010	e
SK	0.107	0.010	b	0.202	0.007	c	0.113	0.006	b	0.092	0.008	b	0.151	0.010	b	0.098	0.007	a	0.130	0.010	c	0.194	0.007	cd	0.101	0.010	bc
TA	0.111	0.000	cd	0.207	0.004	c	0.132	0.007	cd	0.096	0.005	b	0.200	0.010	d	0.110	0.009	a	0.150	0.010	d	0.203	0.015	de	0.116	0.005	cd
TS	0.110	0.008	cd	0.207	0.006	c	0.140	0.006	cde	0.093	0.006	b	0.181	0.010	cd	0.097	0.006	a	0.096	0.005	b	0.190	0.010	cd	0.092	0.012	b
JA	0.115	0.003	cd	0.270	0.019	e	0.156	0.015	e	0.128	0.007	c	0.167	0.006	bc	0.151	0.012	de	0.097	0.006	b	0.227	0.015	f	0.160	0.010	f
JK	0.115	0.003	cd	0.315	0.004	f	0.150	0.007	de	0.130	0.010	c	0.178	0.004	cd	0.120	0.009	bc	0.093	0.011	b	0.209	0.010	de	0.097	0.015	b
A	0.115	0.001	cd	0.190	0.000	c	0.125	0.003	bc	0.097	0.006	b	0.246	0.025	e	0.129	0.009	bc	0.082	0.014	ab	0.216	0.015	ef	0.108	0.008	bc
K	0.106	0.004	b	0.194	0.000	c	0.160	0.009	e	0.090	0.010	b	0.209	0.012	d	0.168	0.007	e	0.088	0.011	ab	0.212	0.007	ef	0.116	0.005	cd

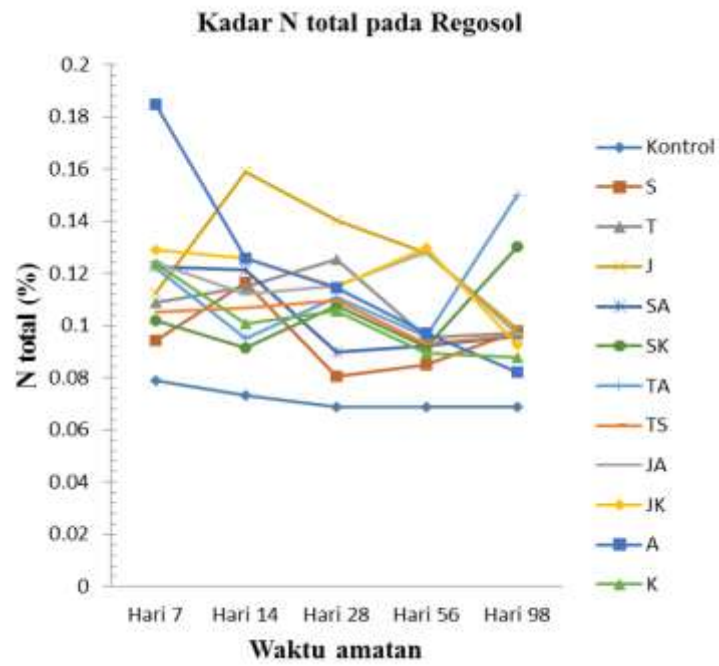
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah



Gambar 1. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah Litosol



Gambar 2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah Mediteran



Gambar 3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah Regosol

HIBAH PENELITIAN 2019



**KONTRAK PENELITIAN TAHUN TUNGGAL
Tahun Anggaran 2019**

Nomor: 31/TB-LPPM/TU-220/III/2019

Pada hari ini Selasa tanggal dua puluh enam bulan Maret tahun dua ribu sembilan belas, kami yang bertandatangan dibawah ini :

- 1. Dr. Ir. Eko Marhaenyanto, MP** : Ketua LPPM Universitas Tribhuwana Tunggadewi dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Rektor Universitas Tribhuwana Tunggadewi yang berkedudukan di Jl. Telaga Warna, Tlogomas, Malang untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
- 2. Dr. Ir Widowati M.P** : Dosen Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggadewi, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2019 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA** secara bersama-sama bersepakat mengikatkan diri dalam suatu Perjanjian Pelaksanaan Kegiatan Penelitian Tahun Tunggal, dengan ketentuan dan syarat sebagai berikut:

**PASAL 1
DASAR HUKUM**

Kontrak Penelitian ini berdasarkan kepada:

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara;
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
3. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 01 Tahun 2004 tentang Perbendaharaan Negara;
4. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara;
5. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;
6. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2015 tentang bentuk dan Mekanisme Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
7. Peraturan Presiden Nomor 13 Tahun 2015 tentang Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi;
8. Peraturan Presiden Nomor 16 tahun 2018 tentang Pengadaan Barang dan Jasa Pemerintah;
9. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 139/PMK.02/2015 tentang Tata Cara Penyediaan, Pencairan, dan Pertanggungjawaban Pemberian Bantuan Pendanaan Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum;
10. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 32/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Masukan Tahun 2019;
11. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 60/PMK.02/2018 tentang Persetujuan Kontrak Tahun Jamak oleh Menteri Keuangan;
12. Peraturan Menteri Keuangan Nomor 69/PMK.02/2018 tentang Standar Biaya Keluaran Tahun 2019;
13. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan tinggi Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2015, tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan tinggi;
14. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 69 tahun 2016 tentang Tata Cara Pembentukan Komite Penilaian dan/atau Reviewer Penelitian;

15. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 6 tahun 2018 tentang Bantuan Operasional Perguruan Tinggi Negeri;
16. Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 20 tahun 2018 tentang Penelitian;
17. Peraturan Direktur Jenderal Perbendaharaan Kementerian Keuangan Republik Indonesia Nomor 15/PB/2017 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pembayaran Anggaran Penelitian Berbasis Standar Biaya Keluaran Sub Keluaran Penelitian;
18. Keputusan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Nomor 209/M/KPT/2018 tentang Panduan Pelaksanaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi XII;
19. Keputusan Direktur Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Nomor 7/E/KPT/2019 19 Februari 2019 tentang Penerima Pendanaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat di Perguruan Tinggi Negeri Badan Hukum Tahun Anggaran 2019.
20. Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019 antara Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat dengan Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi Wilayah VII Nomor 113/SP2H/LT/DRPM/2019.

PASAL 2 RUANG LINGKUP

- (1) Ruang lingkup Kontrak Penelitian ini meliputi Pelaksanaan Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi dengan judul "Karakterisasi Biochar Pupuk Organik Pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Iklim Kering" penelitian dibebankan pada DIPA (Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.

PASAL 3 JANGKA WAKTU

Kontrak Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu 1 (satu) tahun.

PASAL 4 HAK DAN KEWAJIBAN

- (1) Hak dan Kewajiban **PIHAH PERTAMA**:
 - a. **PIHAH PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAH KEDUA** luaran penelitian berupa (luaran wajib);
 - b. **PIHAH PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAH KEDUA** dengan jumlah (dana yang diperoleh) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- (2) Hak dan Kewajiban **PIHAH KEDUA**:
 - a. **PIHAH KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAH PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (1);
 - b. **PIHAH KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAH PERTAMA** luaran Wajib penelitian berupa Dokumentasi hasil uji coba produk. Serta Luaran Tambahan berupa Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional (Accepted/ Published);
 - c. **PIHAH KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;
 - d. **PIHAH KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAH PERTAMA** laporan penggunaan dana.
 - e. Mengunggah ke laman SIMLITABMAS dokumen sebagai berikut:
 1. revisi proposal penelitian
 2. catatan harian pelaksanaan penelitian
 3. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
 4. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
 5. laporan akhir penelitian
 6. luaran penelitian

paling lambat tanggal 16 November 2019.
- (3). **PIHAH PERTAMA** mempunyai hak menerima dokumen hasil unggahan di laman SIMLITABMAS sebagai berikut:
 1. revisi proposal penelitian
 2. catatan harian pelaksanaan penelitian

3. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
4. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
5. laporan akhir penelitian
6. luaran penelitian

(4). **PIHAK KEDUA** mempunyai hak mendapatkan dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA**.

PASAL 5 CARA PEMBAYARAN

- (1) **PIHAK PERTAMA** memberikan pendanaan penelitian sebesar: 135.795.000 (Seratus Tiga Puluh Lima Juta Tujuh Ratus Sebelan Puluh Lima Ribu Rupiah) yang dibebankan kepada DIPA Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi.
- (2) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap:
 - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar Rp. 95.056.500 (Sembilan Puluh Lima Juta Lima Puluh Enam Ribu Lima Ratus Rupiah)
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar Rp. 40.738.500. (Empat Puluh Juta Tujuh Ratus Tiga Puluh Delapan Ribu Lima Ratus Rupiah)
 - c. Pembayaran dana luaran tambahan sebesar Rp. 15.000.000 (Lima Belas Juta Rupiah) dari Rekening Universitas kepada Ketua Peneliti melalui mekanisme transfer antar rekening.
- (3) Pembayaran pada Skema Penelitian Dasar, Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi, Penelitian Terapan, Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi, Penelitian Pengembangan, Penelitian Pengembangan Perguruan Tinggi, Penelitian Kerjasama antar Perguruan Tinggi, dan Penelitian Pasca Sarjana – Pasca Doktor dibayarkan secara bertahap sebesar 70% dan 30%.
- (4) Pembayaran pada Skema Penelitian Dosen Pemula, Penelitian Pasca Sarjana – Tesis Magister, dan Penelitian Pasca Sarjana – Disertasi Doktor dilaksanakan secara sekaligus (100%) diawal bersamaan dengan Pembayaran Tahap Pertama skema yang lainnya.
- (5) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf a, diberikan dengan ketentuan apabila revisi proposal penelitian telah diunggah ke laman SIMLITABMAS.
- (6) Pendanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf b, dengan ketentuan apabila **PIHAK PERTAMA** telah menerima dokumen sebagai berikut:
 - a. laporan kemajuan pelaksanaan penelitian
 - b. Surat Pernyataan Tanggungjawab Belanja (SPTB) atas dana penelitian yang telah ditetapkan
- (7) Dana luaran tambahan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf c dibayarkan kepada **PIHAK KEDUA** bersamaan dengan pembayaran Tahap Kedua.
- (8) Apabila luaran tambahan dinyatakan tidak valid oleh **PIHAK PERTAMA** sebagaimana dimaksud Pasal 4 ayat (1), maka dana luaran tambahan yang sudah diterima harus disetorkan kembali ke kas negara.
- (9) Pendanaan **Kontrak Penelitian** sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dibayarkan kepada Peneliti sebagai berikut :

Nama	: Dr. Ir Widowati M.P
NomorRekening	: 0283054316
Nama Bank	: BNI
- (10) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggungjawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana, yang disebabkan oleh kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan informasi sebagaimana dimaksud pada ayat (9).

PASAL 6
PENGANTIAN KEANGGOTAAN

- (1) Perubahan terhadap susunan tim pelaksana dan substansi penelitian dapat dibenarkan apabila telah mendapat persetujuan dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (2) Apabila PIHAK KEDUA tidak dapat menyelesaikan penelitian atau mengundurkan diri, maka **PIHAK PERTAMA** wajib menunjuk pengganti Ketua Tim Pelaksana penelitian yang merupakan salah satu anggota tim setelah mendapat persetujuan tertulis dari Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan.
- (3) Dalam hal tidak adanya pengganti ketua tim pelaksana penelitian sesuai dengan syarat ketentuan yang ada, maka penelitian dibatalkan dan dana dikembalikan ke Kas Negara.

PASAL 7
PAJAK

PIHAK KEDUA berkewajiban memungut dan menyetor pajak ke kantor pelayanan pajak setempat yang berkenaan dengan kewajiban pajak berupa:

1. pembelian barang dan jasa dikenai PPN sebesar 10% dan PPh 22 sebesar 1,5%;
2. pajak-pajak lain sesuai ketentuan.

PASAL 8
KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan.
- (2) Setiap publikasi, makalah, dan/atau ekspos dalam bentuk apapun yang berkaitan dengan hasil penelitian ini wajib mencantumkan

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019

- (3) Hasil penelitian berupa peralatan adalah milik negara dan dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga melalui Berita Acara Serah Terima (BAST).

PASAL 9
KEADAAN KAHAR

- (1) **PARA PIHAK** dibebaskan dari tanggung jawab atas keterlambatan atau kegagalan dalam memenuhi kewajiban yang dimaksud dalam Kontrak Penelitian disebabkan atau diakibatkan oleh peristiwa atau kejadian diluar kekuasaan **PARA PIHAK** yang dapat digolongkan sebagai keadaan memaksa (*force majeure*).
- (2) Peristiwa atau kejadian yang dapat digolongkan keadaan memaksa (*force majeure*) dalam Kontrak Penelitian ini adalah bencana alam, wabah penyakit, kebakaran, perang, blokade, peledakan, sabotase, revolusi, pemberontakan, huru-hara, serta adanya tindakan pemerintah dalam bidang ekonomi dan moneter yang secara nyata berpengaruh terhadap pelaksanaan Kontrak Penelitian ini.
- (3) Apabila terjadi keadaan memaksa (*force majeure*) maka pihak yang mengalami wajib memberitahukan kepada pihak lainnya secara tertulis, selambat-lambatnya dalam waktu 7 (tujuh) hari kerja sejak terjadinya keadaan memaksa (*force majeure*), disertai dengan bukti-bukti yang sah dari pihak yang berwajib, dan **PARA PIHAK** dengan itikad baik akan segera membicarakan penyelesaiannya.

PASAL 10
PENYELESAIAN PERSELISIHAN

- (1) Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan Kontrak Penelitian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat
- (2) Dalam hal tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat sebagaimana dimaksud pada ayat (1) maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum yang berlaku dengan memilih domisili hukum di Pengadilan Negeri Surabaya.

PASAL 11
AMANDEMEN KONTRAK

Apabila terdapat hal lain yang belum diatur atau terjadi perubahan dalam Kontrak Penelitian ini, maka akan dilakukan amandemen Kontrak Penelitian.

PASAL 12
SANKSI

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Kontrak Penelitian telah berakhir, **PIHAK KEDUA** tidak melaksanakan kewajiban sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 ayat (2), maka **PIHAK KEDUA** dikenai sanksi administratif.
- (2) Sanksi administratif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dapat berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu dua tahun berturut-turut.

PASAL 13
LAIN-LAIN

- (1). **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.


PASAL 14
PENUTUP

Surat Perjanjian Penelitian ini dibuat rangkap 2 (dua) bermaterai cukup sesuai dengan ketentuan yang berlaku, dan biaya materai dibebankan kepada **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA

Eko Marhaenyanto, MP
0003106805

PIHAK KEDUA


Dr. Ir Widowati M.P
0024086506

Mengetahui
Rektor Universitas Padjadjaran

Dr. Ir. A. Hamzah, MP
0027056721

Bidang Unggulan : Ketahanan dan Keamanan Pangan
Kode/ Nama Rumpun Ilmu : 151/ Ilmu Tanah

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
Tahun ke 3



JUDUL PENELITIAN
KARAKTERISASI BIOCHAR-PUPUK ORGANIK
PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING

Ketua Tim Peneliti:

Dr. Ir. Widowati, MP (NIDN 0024086506)

Anggota Tim:

Sutoyo, SP., MP (NIDN 0002076012)

Hidayati Karamina, SP., SH., MP (NIDN 0704019101)

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal
Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan
Pendidikan Tinggi

Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2019

UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADDEWI
MALANG
NOVEMBER 2019

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr Ir WIDOWATI, M.P
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
NIDN : 0024086506
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Agroteknologi
Nomor HP : 0822 4571 1408
Alamat surel (e-mail) : widwidowati@gmail.com

Anggota (1)
Nama Lengkap : SUTOYO S.P, M.P
NIDN : 0002076012
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Anggota (2)
Nama Lengkap : HIDAYATI KARAMINA S.H., S.P, M.P
NIDN : 0704019101
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 3 dari rencana 3 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 135,795,000
Biaya Keseluruhan : Rp 385,215,000


Mengetahui,

Dekan Fakultas Pertanian,


(Dr. J. Amir Hamzah, MP)
NIP/NIK 0027056718

Malang, 4 - 11 - 2019

Ketua,


(Dr Ir WIDOWATI, M.P)
NIP/NIK 0024086506

Menyetujui,
LPPM,


(Dr. Eki Y. Mahanianto, MP)
NIP/NIK 0003106802

RINGKASAN

Lahan kering di Kabupaten Malang berpotensi dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan lahan pertanian berkurang, serta ketidakmungkinan perluasan areal baru. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Kecamatan Donomulyo terletak di dataran tinggi dengan jenis Entisol lithic subgrup. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal, tergolong tanah muda yang miskin unsur hara, bukan termasuk tanah yang subur. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong dan ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (Inseptisol) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Dalam jangka panjang penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas di lahan kering sehingga ketahanan pangan terwujud. Hal ini didekati dengan percobaan yang akan dilakukan dalam waktu 4 tahun. Percobaan tahun I lebih menekankan pengaruh langsung dari karakteristik biochar-pupuk organik terhadap sifat tanah pada beberapa jenis tanah (bertekstur liat dan pasir berlempung). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung pada beberapa jenis tanah selama 2 musim tanam.

Pada tahun I (2017) percobaan dalam pot plastik di rumah kaca, di Dusun Bawang, Desa Tunggulwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian ini menggunakan 3 sampel tanah yang berasal dari 3 kecamatan di Kabupaten Malang Selatan dari agroekosistem lahan kering. Jenis tanah yang diambil mewakili proses pembentukan dan perkembangan tanah yang berpengaruh terhadap karakteristik jenis tanah. Jenis tanah dari Kec. Poncokusumo adalah Entisol (baru berkembang), dari Kec. Donomulyo adalah Entisol lithic subgrup (berkembang tidak sempurna), dan Inseptisol dari Kec. Kalipare (sedang berkembang). Biochar dari 3 jenis biomasa (sekam padi, tongkol jagung, jengkok tembakau). Pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang ayam.

Pada tahun II (2018) menggunakan tanaman sebagai indikator untuk melihat respon terhadap aplikasi biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah sebagaimana pada tahun I. Percobaan dilakukan dalam polibag yang diletakkan di lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan pada Inseptisol dan Entisol lithic subgrup menunjukkan hasil jagung yang berbeda. Hasil jagung lebih tinggi dengan biochar tongkol kombinasi pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya penggunaan pupuk

kandang pada Inseptisol. Penggunaan biochar sekam kombinasi pupuk kandang menunjukkan hasil jagung terbaik pada Entisol lithic subgrup. Jenis biochar dan pupuk organik yang diterapkan pada Inseptisol dan Entisol lithic subgrup memberikan pengaruh yang berbeda pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Penggunaan jenis biochar dan pupuk organik secara tunggal maupun kombinasi pada Entisol menunjukkan hasil jagung yang sama. Penggunaan biochar tongkol dan pupuk kandang secara kombinasi lebih baik dibanding tunggal pada Inseptisol. Pupuk kandang dan jenis biochar yang diterapkan secara tunggal maupun kombinasi lebih baik pada Entisol lithic subgrup. Hasil biji terbaik diperoleh dari kadar N,P,K seimbang setelah pupuk kandang diterapkan bersama biochar dari jenis yang berbeda pada Inseptisol dan Entisol lithic subgrup. Jenis tanah menentukan kemampuan biochar sebagai penyedia Ca dan Mg (Entisol lithic subgrup) maupun menyimpan kation basa (Inseptisol dan Entisol). Perubahan sifat-sifat tanah dalam menanggapi perubahan biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah meskipun memiliki tekstur yang sama. Namun jenis biochar dan pupuk organik menunjukkan hasil jagung yang tidak berbeda pada Entisol. Penggunaan biochar jengkok-pupuk kandang secara bersama lebih baik daripada secara tunggal pada Inseptisol, seperti pH tanah, bahan organik tanah, jumlah basa, kapasitas tukar kation, dan kadar N total. Aplikasi secara kombinasi lebih menguntungkan daripada secara tunggal untuk kadar P tersedia (7 dan 112 hst) pada tanah Inseptisol dan Entisol lithic subgrup dan khususnya kadar N total tanah pada 7 hst.

Pada tahun III (2019) merupakan percobaan lanjutan dari tahun II untuk mengevaluasi pengaruh residu aplikasi biochar-pupuk organik pada tanaman jagung secara berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan setiap jenis pembenah tanah memiliki efektifitas yang berbeda terhadap perbaikan bahan organik tanah dan sifat fisik ketiga jenis tanah. Untuk mendapatkan hasil jagung yang lebih baik pada Entisol dari pemberian biochar tongkol dicampur pupuk kandang, pada Inceptisol dari biochar sekam padi dicampur pupuk kandang, dan pada Entisol Lithic subgrup dari pupuk kandang. Jenis bahan pembenah tanah mempengaruhi komposisi fraksi penyusun tanah (pasir, debu, liat) sehingga berdampak pada perubahan sifat fisik pada setiap jenis tanah. Pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik meningkatkan status perubahan kimia tanah, seperti pH tanah, N total tanah, bahan organik, P tersedia, K tersedia, kandungan Na, kandungan Ca, kandungan Mg dan KTK. Pemberian jenis biochar (biochar tongkol jagung, sekam padi dan jengkok tembakau) serta pupuk organik (kompos dan pupuk kandang) memberikan respon perubahan yang tinggi, kecuali KTK. Kadar N total meningkat dari status rendah (kontrol) menjadi sedang (residu biochar yang dikombinasikan dengan pupuk organik) pada Entisol dan (biochar saja) pada Inceptisol. Namun tidak nyata berpengaruh pada Entisol lithic subgrup. Kadar P tersedia meningkat dari status sedang menjadi sangat tinggi (residu biochar yang dikombinasi pupuk organik) pada Entisol, dari rendah menjadi tinggi (biochar dan pupuk kandang) pada Entisol lithic subgrup, dan dari sedang ke tinggi (biochar saja) pada Inceptisol. Kadar K meningkat dari status sangat rendah menjadi rendah (residu biochar dan pupuk organik) pada ketiga

jenis tanah. Pada Entisol, pemberian biochar tongkol jagung+kompos, biochar padi+pupuk kandang, dan pemberian jengkok-tembakau memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan kandungan N total tanah, bahan organik tanah, P tersedia dibandingkan dengan kontrol. Pada Entisol lithic subgrup, pemberian biochar jengkok-tembakau+pupuk organik (pupuk kandang maupun kompos) memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan P dan K tersedia dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya. Pada Inceptisol, pemberian biochar sekam padi+kompos, biochar jengkok-tembakau+kompos dan biochar tongkol jagung saja dapat memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan bahan organik tanah, N total, P tersedia, K tersedia dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya. Pada Entisol, biochar tongkol jagung dicampur pupuk kandang menurunkan KHJ (59,3%) dan pori makro (67,4%), serta meningkatnya bahan organik tanah (16,5%), porositas (16,9%), pori mikro (60,2%), serta hasil jagung (146,4%) dibanding kontrol. Pada Inceptisol, biochar sekam padi dicampur pupuk kandang menurunkan bobot isi tanah (23,1%), fraksi liat (6,4%), kadar air pada titik layu permanen (41,2%), dan meningkatkan bahan organik tanah (135,3%), bobot jenis partikel (9,1%), porositas (45,6%), fraksi pasir (81,5%), pori makro (40,1%), pori mikro (60,9%), air tersedia (12,4%), kadar air pada kapasitas lapangan (30%), serta hasil jagung (120,7%) dibanding kontrol. Pada Entisol Lithic Subgrup, pupuk kandang menurunkan bobot isi tanah (9%), fraksi liat (12,2%), pori mikro (44,6%), kadar air pada titik layu permanen (45,5%), dan meningkatkan bahan organik tanah (75,7%), bobot partikel tanah (14,3%), porositas (30,1%), fraksi pasir (25,4%), fraksi debu (47,6%), KHJ (652%), air tersedia (168%), pori makro (76,6%), dan hasil jagung (50,1%) dibanding kontrol.

Luaran penelitian berupa produk biochar yang dapat meningkatkan produktivitas lahan kering. Luaran berupa: (1). Paten tahun 2018 yang telah diumumkan oleh Kemenkumham dengan nomor P00201810883, berjudul “Komposisi *Biochar* Tongkol Jagung dan Metode Pembuatannya”; (2). Artikel ilmiah Internasional berjudul “Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types” dipublikasi di jurnal Bioscience Research (pISSN: 1811-9506 eISSN 2218-3973), 2017, 14 (4):955-965, 10 Des 2017, www.isisn.org. doi 10.1007/s00374-002-0466-4; (3). artikel ilmiah internasional berjudul “The soil organic dynamics from types biochar-organic fertilizers and soil” yang telah dipublikasi Published under licence by IOP Publishing Ltd. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science volume 215 (2018) 012008. doi :10.1088/1755-1315/215/1/012008; (4). Prosiding hasil seminar nasional 2018 di UGM dengan ISSN: 2442-7314 hal 682 – 692, yang berjudul “Dinamika Nitrogen Selama Inkubasi Biochar dan Pupuk Organik Pada Berbagai Jenis Tanah”. (5). Artikel berjudul “The Corn Yield Evaluation of Biochars And Organic Fertilizers Application to Three Types of Soil” (Hayati Journal of Biosciences, IPB, Q2, SJR 0,31) submit pada 28-10-2019. (6). Selain itu juga telah disiapkan 3 jurnal lainnya yang akan dipublikasi pada jurnal internasional bereputasi berjudul “Biochar and Organic Fertilizer Utilization in Enhancing Corn Yield on Various Type of Dryland”; Submit di ANRES (Agriculture and Natural Resources) pada tgl 10-10-2019 (Q3; SJR 0,24,

Thailand) (7). Judul “Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation”; submit di AIMS Agriculture and Food, Q3, United State, SJR 0,21) (8) Artikel yang sedang proses native proofreading berjudul “Status of soil organic matter and levels N, P, K after two years using biochar and organic fertilizer in three types of soil” yang akan disubmit di Eur Asian Journal Biosciences, Turkey, SJR 0,12, Q4. (9). Selain jurnal juga ada buku yang diterbitkan oleh kerjasama UM dan UNITRI yang berjudul “ Penggunaan Biochar di Lahan Kering” (ISBN 978-602-470-121-5). (10). Hak cipta buku Penggunaan biochar di lahan kering dengan nomor 000156772 (11). Diseminasi hasil penelitian dengan mengikuti seminar nasional di UGM yang berjudul “Analisis pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dari residu biochar - pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering” (2019). (12). Dokumentasi hasil produk biochar tongkol jagung. (13). Dokumentasi hasil uji produk. (14). Buku Petunjuk Pembuatan dan Penggunaan Biochar. Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) 5 yang hendak dicapai untuk validasi suatu subsistem dalam lingkungan yang relevan.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karuniaNya sehingga laporan akhir Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) tahun ketiga (2019) dapat diselesaikan. Penelitian dengan judul “Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering” merupakan penelitian yang mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT di bidang Ketahanan Pangan. Topik unggulan, diantaranya *Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan*. Ada produk dari penelitian berupa perubahan dari limbah industri tembakau (jengkok) menjadi biochar jengkok tembakau, dari sekam padi menjadi biochar sekam padi, dan dari tongkol jagung menjadi biochar tongkol jagung. Produk biochar lebih unggul daripada bahan bakunya/ biomasa karena bersifat persisten di dalam tanah sehingga memberikan pengaruh secara berkelanjutan. Produk tersebut diaplikasikan ke tiga jenis tanah yang diambil dari lahan kering dengan tingkat kesuburan dan produktivitas yang rendah. Tanaman jagung digunakan sebagai indikator terhadap perubahan setelah menggunakan biochar dan pupuk organik. Pengaruh aplikasi produk diamati pada dua siklus tanaman jagung yang ditanam dalam dua musim tanam di lahan kering yang diberi biochar-pupuk organik. Penelitian dalam dua siklus tanam dengan maksud untuk mengamati pengaruh keberlanjutan produk terhadap sifat tanah maupun tanaman.

Pada kesempatan ini, tim peneliti menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kemenristek-Dikti yang telah mendanai PTUPT dalam waktu 3 tahun (2017-2019). Luaran berupa paten tentang “Komposisi *Biochar* Tongkol Jagung dan Metode Pembuatannya” telah diumumkan oleh Kemenkumham pada tahun 2018 dengan nomor P00201810883. Publikasi internasional di jurnal Bioscience Research (2017) dan IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (2018). Tiga jurnal internasional lainnya telah disubmit di Agriculture and natural resources (ANRES), AIMS Agriculture and food, dan Hayati journal of biosciences. Saat ini masih ada satu artikel masih dalam native proofreading yang rencana akan disubmit di EurAsian journal Biosciences. Desiminasi hasil penelitian dalam seminar nasional dan internasional di UGM dalam tiga tahun berturut-turut. Dari hasil penelitian ini juga telah diterbitkan buku ber-ISBN dengan judul “Penggunaan Biochar di Lahan Kering”.

Penulis berharap kiranya kelak hasil penelitian dapat dikolaborasikan di lapangan dengan menggunakan lahan milik petani sebagai mitra binaan lahan kering. Semoga laporan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan IPTEK.

Malang, 6 Nopember 2019
Penulis,

Widowati

DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
PRAKATA	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT	6
3.1 Tujuan Penelitian	6
3.2 Manfaat Penelitian	6
BAB IV METODE PENELITIAN	7
BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI.....	9
5.1.Hasil Dan Pembahasan	9
5.1.1.Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Jagung Musim Tanam Kedua	9
5.1.2.Sifat Kimia Tanah Saat Pertumbuhan Vegetatif Maksimal	30
5.1.3.Sifat Kimia Tanah Setelah Panen.....	58
5.1.4.Sifat Fisik Tanah Setelah Dua Tahun Musim Tanam Jagung Pada Tiga Jenis Tanah	76
5.2.Luaran Yang Dicapai	87
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	90
6.1.Kesimpulan.....	90
6.2.Saran	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	103
1. Surat Paten Diumumkan	
2. Cover Buku	
3. Bukti Submmit Di Tiga Jurnal Internasional (ANRES, AIMS, HAYATI)	
4. Dokumentasi Hasil Produk	
5. Dokumentasi Hasil Uji Produk	
6. Cover Buku Petunjuk Penggunaan Dan Penggunaan Biochar	
7. Sertifikat Kegiatan Seminar Sebagai Pemakalah Dalam Tiga Tahun	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil analisis nested design tinggi tanaman.....	9
Tabel 2. Hasil uji DMRT tinggi tanaman pada jenis tanah	10
Tabel 3. Hasil analisis nested design berat total tanaman.....	11
Tabel 4. Hasil uji DMRT berat total tanaman pada jenis tanah	12
Tabel 5. Hasil analisis nested design ILD	13
Tabel 6. Hasil uji DMRT ILD pada jenis tanah	14
Tabel 7. Hasil analisis nested design SLA	15
Tabel 8. Hasil uji DMRT SLA pada jenis tanah	16
Tabel 9. Hasil analisis nested design berat jagung tanpa klobot.....	17
Tabel 10. Hasil uji DMRT berat jagung tanpa klobot pada jenis tanah.....	18
Tabel 11. Hasil analisis nested design berat pipilan kering	19
Tabel 12. Hasil uji DMRT berat pipilan kering pada jenis tanah	20
Tabel 13. Hasil analisis nested design berat 100 biji	23
Tabel 14. Hasil uji DMRT berat 100 biji pada jenis tanah	24
Tabel 15. Hasil analisis nested design berat tongkol tanpa biji	25
Tabel 16. Hasil uji DMRT berat tongkol tanpa biji pada jenis tanah	26
Tabel 17. Hasil analisis nested design panjang tongkol.....	26
Tabel 18. Hasil uji DMRT panjang tongkol pada jenis tanah.....	27
Tabel 19. Hasil analisis nested design diameter tongkol	28
Tabel 20. Hasil uji DMRT diameter tongkol pada jenis tanah	29
Tabel 21. Hasil analisis nested design pH awal	30
Tabel 22. Hasil uji DMRT pH awal pada jenis tanah	31
Tabel 23. Hasil analisis nested design N total awal	33
Tabel 24. Hasil uji DMRT N total awal pada jenis tanah	34
Tabel 25. Hasil analisis nested design bahan organik awal	35
Tabel 26. Hasil uji DMRT bahan organik awal pada masing-masing jenis tanah.....	36
Tabel 27. Hasil analisis nested design P.Brays1	40
Tabel 28. Hasil uji DMRT P Brays1 pada jenis tanah.....	42
Tabel 29. Hasil analisis nested design K awal	43

Tabel 30. Hasil uji DMRT K awal pada jenis tanah	44
Tabel 31. Hasil analisis nested design Na awal	46
Tabel 32. Hasil uji DMRT Na awal pada jenis tanah	47
Tabel 33. Hasil analisis nested design Ca awal.....	48
Tabel 34. Hasil uji DMRT Ca awal pada jenis tanah.....	49
Tabel 35. Hasil analisis nested design Mg awal	50
Tabel 36. Hasil uji DMRT Mg awal pada jenis tanah.....	51
Tabel 37. Hasil analisis nested design KTK awal.....	53
Tabel 38. Hasil uji DMRT KTK awal pada jenis tanah.....	54
Tabel 39. Hasil analisis nested design KB awal	56
Tabel 40. Hasil uji DMRT KB awal pada jenis tanah.....	57
Tabel 41. Nilai signifikan Bahan Organik Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah.....	58
Tabel 42. Nilai Kandungan Bahan Organik Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	60
Tabel 43. Nilai signifikan N Total Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	60
Tabel 44. Nilai N Total Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	62
Tabel 45. Nilai signifikan P Olsen Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	62
Tabel 46. Nilai Kandungan P Tersedia Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	64
Tabel 47. Nilai signifikan K dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	65
Tabel 48. Nilai Kandungan K Tersedia dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	66
Tabel 49. Nilai signifikan Na dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	66
Tabel 50. Kandungan Na dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	67

Tabel 51. Nilai signifikan Kandungan Ca dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	68
Tabel 52. Kandungan Ca dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	69
Tabel 53. Nilai signifikan Kandungan Mg dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	69
Tabel 54. Kandungan Mg dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	70
Tabel 55. Nilai signifikan pH pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	71
Tabel 56. Nilai pH Tanah Entisol, Ektisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	71
Tabel 57. Nilai signifikan KTK dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	73
Tabel 58. Nilai KTK dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah	74
Tabel 59. Nilai signifikan Kejenuhan Basa dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah	75
Tabel 60. Nilai Kejenuhan Basa dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah.....	76
Tabel 61 Hasil analisis nested design bagan organik tanah, sifat fisik tanah, dan hasil jagung pipilan kering	82
Tabel 62. Hasil uji DMRT bahan organik tanah, bobot isi tanah, bobot jenis tanah, dan porositas pada jenis tanah.....	34
Tabel 63. Hasil uji DMRT pasir, debu, liat, dan tekstur tanah pada jenis tanah.....	84
Tabel 64 Hasil uji DMRT konduktivitas hidrolik jenuh dan kadar air pada jenis Tanah	85
Tabel 65. Hasil uji DMRT pori-pori dan bobot hasil jagung pipilan kering pada jenis tanah.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rata-rata berat jagung tanpa klobot tanah Inseptisol, entisol, Entisol lithic subgrup	19
Gambar 2. Rata-rata berat pipilan kering tanah Inseptisol, entisol dan Entisol lithic subgrup.....	23
Gambar 3. Rata- rata nilai pH tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol.....	32
Gambar 4. N Total pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol.....	34
Gambar 5. Bahan organik pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol.....	37
Gambar 6. Kandungan P pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol	42
Gambar 7. Kandungan K pada tanah entisol, entisol lithic subgub dan Inceptisol	45
Gambar 8. Kandungan Na pada tanah entisol, entisol lithic subgub, Inceptisol	47
Gambar 9. Ca NH ₄ OAC1N pH:7 pada entisol, entisol lithic subgub dan Inceptisol	50
Gambar 10. Mg NH ₄ OAC1N pada tanah entisol, entisol lithic subgub, Inceptisol	52
Gambar 11. KTK NH ₄ OAC1N pH:7 tanah entisol, entisol lithic subgub, Inceptisol	55
Gambar 12. Kejenuhan Basa (%) tanah entisol, entisol lithic subgub, Inceptisol	57

DAFTAR LAMPIRAN

1. Surat paten diumumkan.....	103
2. Cover Buku	104
3. Bukti submit di tiga jurnal internasional (ANRES, AIMS, HAYATI).....	104
4. Dokumentasi hasil produk.....	106
5. Dokumentasi hasil uji produk	107
6. Cover buku petunjuk penggunaan dan penggunaan biochar.....	108
7. Sertifikat kegiatan Seminar sebagai pemakalah dalam tiga tahun	109

BAB I. PENDAHULUAN

Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian tahun 2013, luas lahan suboptimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha diantaranya lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kab. Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan lahan pertanian berkurang, dan ketidakmungkinan perluasan areal baru. Kendala internal berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas rendah. Masalah yang seringkali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air yang rendah, peka terhadap erosi, topsoil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan. Oleh karena itu penelitian ini masih dipandang penting dalam rangka untuk meningkatkan produktivitas lahan kering. Penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung, pada tanah sulfat masam di Kalimantan, lahan kering beriklim kering, tanah lempung berpasir di Lombok Utara, dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan dan tanah yang sedang terdegradasi.

Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Asai *et al.*, (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan nutrisi lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013), konversi biomassa sisa tanaman menjadi

biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos.

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar-pupuk organik pada jenis tanah terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian variasi dalam karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar-pupuk organik pada jenis tanah. Tujuan khusus penelitian untuk mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada beberapa jenis tanah secara berkelanjutan.

Spesifikasi khusus terkait skema Renstra penelitian dengan bidang unggulan Ketahanan Pangan. Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan merupakan salah satu topik unggulan. Penelitian ini menawarkan sebuah pengembangan paket teknologi pengelolaan tanah dengan biochar-pupuk organik sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas lahan kering sehingga mendukung produksi tanaman secara berlanjut.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Lahan suboptimal yang paling luas ialah lahan kering yaitu 122,1 juta ha yang terdiri atas lahan kering masam 108,8 juta ha dan lahan kering iklim kering 13,3 juta ha (Mulyani dan Sarwani, 2013). Menurut Haryono (2013), optimalisasi lahan sub optimal meliputi produktivitas, efisiensi produksi, kelestarian sumberdaya dan lingkungan serta kesejahteraan petani melalui intensifikasi dan ekstensifikasi lahan sub optimal yang terdegradasi atau terlantar. Pengelolaan hara dengan bahan organik merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan lahan kering. Bahan organik tanah merupakan faktor penting yang menentukan kesuburan dan produktivitas tanah. Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik.

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis, tidak seperti biochar. Biochar lebih stabil bertahan di dalam tanah dibandingkan dengan bahan pembenah tanah lainnya sehingga fungsinya di dalam tanah bersifat jangka panjang (Wang *et al.*, 2016). Hampir setiap bahan organik dapat dikonversi menjadi biochar, namun karakter masing-masing bahan organik akan memiliki pengaruh pada sifat fisik, kimia, dan biologi tanah setelah dimasukkan ke dalam tanah. Reaktivitas biochar dan atau pupuk organik di dalam tanah dapat bervariasi dalam mempengaruhi kesuburan tanah.

Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Setiap jenis biochar memiliki sifat-sifat yang berbeda berdasarkan kondisi produksi dan bahan baku yang digunakan. Naeem *et al.*, (2014) melaporkan variasi suhu pirolitik dan bahan baku akan mempengaruhi hasil dan komposisi hara biochar. Biochar diproduksi dari berbagai biomassa dan umumnya bisa digunakan untuk perbaikan tanah. Kondisi proses yang digunakan dalam studi di berbagai literatur sering menyulitkan jika ingin membandingkan hasil mengenai efek sifat bahan baku dari karakteristik biochar. Respon tanaman terhadap biochar sangat bergantung kepada material dan cara pembuatan biochar (Major *et al.*, 2010a). Kandungan mineral biochar juga akan bervariasi bergantung kepada material yang digunakan (Yao *et al.*, 2012). Demikian pula efektivitas penggunaan biochar dapat bervariasi, dan sumber biomassa yang

digunakan dapat mempengaruhi karakterisasi biochar. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan perbedaan karakteristik biochar dari bahan baku dan kondisi produksi, seperti yang telah dilaporkan oleh Widowati *et al.*, (2011, 2014, 2017); Peng *et al.* (2011); Ammu *et al.* (2015). Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009)

Karena struktur aromatiknya, karbon biochar lebih stabil daripada karbon dalam biomassa asli sehingga dapat menurunkan laju dekomposisi bahan organik. Penggunaan mulsa, kompos, pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah, meski begitu dalam kondisi tropis, dimineralisasi sangat cepat (Tiessen *et al.*, 1994). Pengaruh agronomi dengan penambahan biochar telah ditemukan di berbagai lintang dengan kesuburan tanah yang rendah (Biederman dan Harpole, 2013; Liu *et al.*, 2013). Aplikasi biochar juga meningkatkan penyimpanan air tanah (Wang *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan oleh peningkatan kapasitas air kapiler tanah setelah aplikasi biochar sehingga menyebabkan peningkatan produktivitas budidaya tanaman, peningkatan aktivitas mikroba dalam tanah, dan tingkat yang lebih tinggi dari ketersediaan nutrisi, terutama P dan K (Biedermann dan Harpole, 2013). Kapasitas memegang air tanah dan air yang tersedia meningkat di tanah liat dan tanah lempung berpasir (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2015). Kapasitas pegang air meningkat sebesar 11% pada biochar (9 t ha⁻¹) di tanah lempung berdebu, Finlandia Selatan (Karhu *et al.*, 2011). Peningkatan air yang tersedia dengan penambahan biochar memperbaiki struktur berpori (pori mikro dan meso) dan agregasi tanah (Obia *et al.*, 2016). Sifat kimia tanah juga diperbaiki seperti meningkatkan pH tanah (rasio Ca/Al yang lebih tinggi dan ketersediaan PO₄⁻³ dan kejenuhan basa meningkat) (Martinsen *et al.*, 2015); meningkatkan kapasitas retensi hara dan KTK tanah (Chan *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2006) dan dengan demikian mengurangi pencucian hara (Hale *et al.*, 2013; Martinsen *et al.*, 2014).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan manfaat penggunaan, seperti aplikasi 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung dan 40 t ha⁻¹ serasah jagung meningkatkan 242,95% P tersedia dan 10,4% KTK tanah (Inceptisol) di lahan kering Malang Selatan. Pemberian 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%). Tinggi tanaman jagung berumur 49 HST berkisar 71,13 dan 92,90 cm (Sonia *et al.*, 2014). Peng *et al.* (2011) melaporkan bahwa biomassa jagung meningkat sebesar 64% (tanpa NPK) dan 146% (dengan NPK) setelah amandemen biochar pada tanah Ultisol. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP₃₆ dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Inceptisol yang sedang mengalami degradasi telah

menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam. Biochar dapat digunakan secara luas sebagai agen untuk memperbaiki tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya, remediasi dan/atau proteksi melawan polusi lingkungan dan sebagai agen mitigasi gas rumah kaca (Lehmann & Joseph, 2015). Hasil-hasil penelitian terkini, mengindikasikan bawa biochar memiliki porositas yang tinggi (Downie *et al.*, 2009), luas dan muatan permukaan yang tinggi sehingga dapat memperbaiki sruktur tanah, bobot volume tanah, meningkatkan kapasitas tanah menyimpan air dan hara (Baronti *et al.*, 2014) dapat menambah unsur hara (Biederman & Harpole, 2013; Ding *et al.*, 2016), dan juga menjadi hunian yang aman dan nyaman bagi organisme tanah (Lehmann *et al.*, 2011). Biochar secara langsung memberikan efek pada tanaman kacang-kacangan seperti meningkatkan fiksasi N biologis (Mia *et al.*, 2014), meningkatkan toleransi kekeringan (pertumbuhan, efisiensi penggunaan air dan hubungan antara tanah-tanaman (emisi gas N₂O tanah) (Kammann *et al.*, 2011), dan meningkatkan potensial air daun (Baronti *et al.*, 2014).

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT

3.1. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian untuk mengevaluasi pengaruh jenis biochar-pupuk organik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada beberapa jenis tanah secara berkelanjutan di lahan kering.

3.2. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian bermanfaat untuk memaksimalkan strategi pengelolaan tanah dengan memberikan biochar-pupuk organik yang cocok dengan suatu jenis tanah di lahan kering sehingga mendukung keberlanjutan produksi tanaman dan mewujudkan ketahanan pangan.

BAB IV. METODE PENELITIAN

Dua biochar dari tongkol jagung dan sekam padi dibuat dengan alat pirolisis fixed bed dengan sistem separator dan kondensor selama 4 jam pada suhu 350 – 5000C di Universitas Tribhuwana Tungadewi. Biochar dari limbah industri tembakau atau jengkok diproduksi dengan alat pirolisis extrusion Etia selama 15 menit pada suhu 700⁰C di PT. Gudang Garam, Tbk. Untuk pengukuran laboratorium, biochar kering dan diayak lebih dari 2 mm dengan karakteristik biochar dilaporkan oleh Widowati et al. (2017). Untuk uji coba pot di lapangan, biochar tongkol jagung dihaluskan (ukuran < 2 mm), jengkok dan sekam padi langsung diterapkan pada tanah. Dua pupuk organik dari pupuk kandang kotoran ayam (pukan) dan kompos dari sampah kota.

Lokasi lapangan (Kabupaten Malang bagian Selatan) untuk pengambilan sample tanah memiliki karakteristik tanah sangat bervariasi. Secara geografis, Kecamatan Donomulyo (112°23'30" – 112°29'64" BT dan 8°16'75" – 8°19'81" LS) terletak di dataran tinggi, tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm), tergolong tanah muda yang miskin unsur hara dengan fraksi liat yang tinggi (Entisol Lithic Subgrup). Kecamatan Kalipare (21,95⁰ – 29,61⁰ BT dan 9,40⁰ – 16,48⁰ LS) terletak di lereng Gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/ tadah hujan, fraksi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak banyak tanaman yang bisa tumbuh (Inceptisol). Berbeda dengan Kecamatan Poncokusumo (8° 0' 23" S, 112° 46' 40" E) termasuk tanah muda tanpa perkembangan profil, dominasi fraksi pasir (Entisol) sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Sample tanah diambil dari permukaan tanah (0- 30 cm) secara komposit. Tiga jenis tanah pertanian yang berbeda, dua jenis tanah liat (Inceptisol dan Entisol Lithic Subgrup) dan satu jenis tanah pasir (Entisol). Dua jenis tanah bertekstur liat, yaitu Inceptisol dengan pH 5,3; C organik 1,36%; pasir 11%; debu 24%; liat 65% dan Entisol Lithic Subgrup dengan pH 6,4; C organik 0,76%; pasir 9%; debu 15%; liat 76%. Tanah lainnya dari tekstur pasir berlempung (Entisol) dengan pH 5,6; C organik 0,48%; pasir 86%; debu 3%; liat 11%. Setelah pengeringan udara, tanah sebanyak 9 kg dimasukkan dalam polibag. Biochar dan pupuk organik diterapkan secara tunggal sebanyak 300 g pot⁻¹ maupun campuran sebanyak 150 g pot⁻¹. Tanah dan biochar dan atau pupuk organik dicampur secara merata dan diinkubasi selama 7 hari. Pot ditempatkan di lapangan secara acak sesuai dengan jenis tanah dengan jarak 80 x 25 cm.

Percobaan diatur dalam Rancangan Tersarang yang diulang tiga kali dan ada 8 tanaman jagung varietas Pertiwi 3 di setiap perlakuan sehingga total terdapat 864 polibag. Tiga jenis tanah (faktor pertama) dan pembenah tanah (faktor kedua yang tersarang pada faktor pertama) yang terdiri atas 12 perlakuan, yaitu: 1. Kontrol, 2. Biochar tongkol jagung (CT), 3. Biochar sekam padi (CS), 4.

Biochar jengkok tembakau (CJ), 5. Kompos (Ks), 6. Pukan (Pk), 7. Biochar tongkol jagung-kompos (CKs), 8. Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk), 9. Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks), 10. Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk), 11. Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks), 12. Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk). Biochar dan pupuk organik diterapkan sesuai perlakuan pada 7 Mei 2017 dan jagung ditanam pada musim tanam pertama (MT I) pada 19 Mei 2017 dan dipanen pada 4 September 2017. Akar tanaman dan batang disisakan dan tidak ikut dipanen. Jagung MT II ditanam 7 Agustus 2018 dan dipanen 20 Desember 2018. Pengamatan bahan organik tanah dan sifat fisik tanah dilakukan 18 Januari 2019. Pengukuran sifat fisik tanah dengan mengambil contoh tanah utuh (ring berdiameter 5 cm dan tinggi 5,5 cm) dari kedalaman 15 cm. Sampel tanah untuk mengukur kadar bahan organik tanah diambil secara komposit dari permukaan (0 - 20 cm). Hasil jagung diambil dari tanaman jagung MT II. Selama MT I dan II, tanaman dipupuk 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ (bersamaan tanam) dan 110 kg K_2O ha⁻¹ dan 135 kg N ha⁻¹ (1/3 dosis saat umur 7 HST dan 2/3 dosis saat 28 HST). Hasil tanaman diukur dari jagung pipilan kering (kadar air 10 – 15%) dari 3 tanaman sampel.

Tanah yang diukur untuk pH H₂O (1:1); C organik dengan metode Walkey and Black, Konduktivitas Hidrolik Jenuh (KHJ) diukur dengan metode *constant head*, tekstur dengan metode hidrometer. Kapasitas retensi air tanah, dimulai dari tanah pertama kali jenuh dengan air (pF = 0), dibiarkan mengalir, dan setelah itu mendapat tekanan yang meningkat. Air tersedia bagi tanaman merupakan air yang berada antara pF = 2,5 (kapasitas lapangan) dan pF = 4,2 (titik layu permanen merupakan air yang tersisa sangat terikat kuat sehingga tidak bisa lagi diambil oleh akar tanaman). Berat kering (dikoreksi untuk jumlah akar dan kerikil dan dikeringkan pada 105°C) dan digunakan untuk menentukan bobot isi tanah (BI) dan bobot partikel tanah (BP). Porositas tanah dihasilkan dari rumus sebagai berikut: $(1 - (BI/BP)) \times 100$. Pori makro diperoleh dari selisih kadar air antara pF = 0 dan pF = 2,5 dan dikalikan dengan 100. Pori mikro dihasilkan dari kadar air pada pF = 4,2 dikalikan dengan 100. Pori meso diperoleh dari selisih kadar air volume antara pF = 2,5 dan pF = 4,2. Kadar C organik dengan metode Walkey and Black. Kadar N total dengan Kjeldahl, kadar P dengan metode Bray 1 (Entisol), metode Olsen (Inceptisol dan Entisol Lithic Subgrup), dan kadar K dengan NH_4OAC 1N pH:7.

Data dianalisis dengan software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan dan dilanjutkan dengan Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$.

BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1.1. PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN JAGUNG MUSIM TANAM KEDUA

Tinggi Tanaman

Tinggi tanaman merupakan salah satu faktor penentu pertumbuhan tanaman. Tanaman akan semakin bertambah tinggi dari awal umur pengamatan yaitu 6 MST dan 8 MST. Pada Tabel 2 menjelaskan bahwa respon aplikasi biochar dan pupuk organik baik secara tunggal dan kombinasi menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara residu biochar terhadap pertumbuhan tinggi tanaman pada ketiga jenis tanah yaitu Inseptisol, entisol dan Entisol lithic subgrup. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 1, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.	
	6 MST	8 MST
Jenis Tanah	0.000	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.991	0.614
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.916	0.872
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.761	0.099
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.989	0.887

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel tinggi tanaman.

Jenis Tanah

Tabel 1. menunjukkan pada 6 MST dan 8 MST nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman baik pada 6 MST maupun pada 8 MST.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.991 > \alpha (=0.05)$ dan $0.614 > \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap tinggi tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.916 > \alpha (=0.05)$ dan $0.872 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap tinggi tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.761 > \alpha (=0.05)$ dan $0.099 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap tinggi tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.989 > \alpha (=0.05)$ dan $0.887 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap tinggi tanaman.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol		Entisol		Entisol lithic subgrup	
	6 mst	8mst	6 mst	8mst	6 mst	8mst
Kontrol	0.56 ^{TN}	1.25 ^{TN}	0.49 ^{TN}	0.96 ^{TN}	0.31 ^{TN}	0.82 ^{TN}
T	0.62 ^{TN}	1.43 ^{TN}	0.55 ^{TN}	1.25 ^{TN}	0.35 ^{TN}	1.03 ^{TN}
S	0.62 ^{TN}	1.36 ^{TN}	0.54 ^{TN}	1.29 ^{TN}	0.37 ^{TN}	1.00 ^{TN}
J	0.56 ^{TN}	1.24 ^{TN}	0.54 ^{TN}	1.35 ^{TN}	0.33 ^{TN}	0.88 ^{TN}
K	0.58 ^{TN}	1.32 ^{TN}	0.56 ^{TN}	1.22 ^{TN}	0.34 ^{TN}	0.83 ^{TN}
A	0.56 ^{TN}	1.29 ^{TN}	0.59 ^{TN}	1.40 ^{TN}	0.34 ^{TN}	0.88 ^{TN}
TK	0.61 ^{TN}	1.37 ^{TN}	0.59 ^{TN}	1.36 ^{TN}	0.38 ^{TN}	0.93 ^{TN}
TA	0.60 ^{TN}	1.32 ^{TN}	0.59 ^{TN}	1.34 ^{TN}	0.37 ^{TN}	0.94 ^{TN}
SK	0.60 ^{TN}	1.41 ^{TN}	0.60 ^{TN}	1.41 ^{TN}	0.34 ^{TN}	0.88 ^{TN}
SA	0.63 ^{TN}	1.44 ^{TN}	0.60 ^{TN}	1.40 ^{TN}	0.37 ^{TN}	0.84 ^{TN}
JK	0.57 ^{TN}	1.33 ^{TN}	0.54 ^{TN}	1.30 ^{TN}	0.32 ^{TN}	0.83 ^{TN}
JA	0.55 ^{TN}	1.26 ^{TN}	0.60 ^{TN}	1.30 ^{TN}	0.37 ^{TN}	0.89 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada tanah Inseptisol, entisol dan Entisol lithic subgrup perlakuan residu dosis biochar umur 6 MST dan 8 MST menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Hal ini diduga biochar pada musim tanam kedua belum sepenuhnya tersedia secara optimal sehingga tidak berpengaruh pada pertumbuhan tinggi tanaman jagung yang diamati. Sifat dari biochar adalah sangat sulit terdekomposisi dan lama tersedia sehingga biochar mampu bertahan sampai ratusan tahun di dalam tanah (Gani, 2009).

Pada umumnya tinggi tanaman akan selalu bertambah di setiap umur pengamatan hal ini dikarenakan adanya pengaruh faktor lingkungan dan faktor genetik. Peranan unsur hara Nitrogen di dalam tanaman juga tidak kalah pentingnya karena unsur hara nitrogen merupakan bahan dasar pembentukan protein dan pembentukan klorofil, karena itu nitrogen memiliki fungsi membuat bagian tanaman menjadi lebih hijau, banyak mengandung butir hijau dan yang paling penting adalah proses fotosintesis, mempercepat pertumbuhan tanaman

yang dalam hal ini mampu menambah jumlah anakan, tinggi tanaman, ukuran daun dan besar gabah sehingga gabah memiliki kualitas yang baik (Dobermann and Fairhurst, 2000).

Berat Total Tanaman

Pada hasil analisis sidik ragam tanah entisol menunjukkan adanya pengaruh sangat nyata terhadap residu dosis biochar terhadap berat total tanaman umur 8 MST sedangkan, pada tanah Inseptisol dan Entisol lithic subgrup tidak menunjukkan adanya pengaruh interaksi antara residu biochar baik pada umur tanaman 6 MST dan 8 MST. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 3, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel berat total tanaman.

Tabel 3. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.	
	6 MST	8 MST
Jenis Tanah	0.000	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.750	0.002
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.137	0.878
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.830	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.986	0.337

Jenis Tanah

Tabel 3. menunjukkan pada 6 MST dan 8 MST memiliki nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap berat total tanaman baik pada 6 MST maupun 8 MST.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 3. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.750 > \alpha (=0.05)$ dan $0.002 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat total tanaman pada 6 MST sedangkan pada 8 MST biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap berat total tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 3. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.137 > \alpha (=0.05)$ dan $0.878 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat total tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 3. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.830 > \alpha (=0.05)$ dan $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat total

tanaman pada 6 MST sedangkan pada 8 MST biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol berpengaruh secara signifikan terhadap berat total tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 3. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.986 > \alpha (=0.05)$ dan $0.337 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat total tanaman.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 4.

Pada tanah entisol hasil pengamatan terhadap berat total tanaman menunjukkan bahwa perlakuan Biochar tongkol jagung-pukan (TA) mampu menghasilkan bobot total tanaman terbaik di umur 8 MST yaitu sebesar 5.45 g dan berbeda dengan perlakuan kompos (K), biochar sekam padi-kompos (SK), biochar sekam padi-pukan (SA), biochar jengkok tembakau-kompos (JK). Hal ini membuktikan bahwa jenis tanah entisol apabila diaplikasikan dengan biochar dan pupuk organik memiliki peranan penting dalam menyumbang hara ke tanah sehingga dapat meningkatkan bobot total tanaman, komposisi hara jerami, pengelolaan dan air tanah akan memiliki nilai yang tinggi (Ponnamperuma, 1984).

Penggunaan biochar selain mampu memperbaiki kualitas tanah, juga mampu meningkatkan produksi tanaman. Hasil studi Igarashi (2002) melaporkan bahwa adanya pengaruh pemberian biochar dari sekam padi yang dicampur dengan kapur terhadap pertumbuhan tanaman kedelai dan jagung. Penelitian di Amazone memperlihatkan bahwa adanya penambahan biochar mampu meningkatkan hasil padi dan sorgum hingga 49% bila dibandingkan tanpa adanya biochar (Glaser *et al*, 2002)

Tabel 4. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol		Entisol		Entisol lithic subgrup	
	6 mst	8mst	6 mst	8mst	6 mst	8mst
Kontrol	1.80 ^{TN}	2.45 ^{TN}	1.08 ^{TN}	2.75 a	1.03 ^{TN}	2.59 ^{TN}
T	2.20 ^{TN}	2.96 ^{TN}	1.58 ^{TN}	5.12 cd	0.92 ^{TN}	2.46 ^{TN}
S	2.54 ^{TN}	2.60 ^{TN}	1.69 ^{TN}	5.29 cd	1.24 ^{TN}	3.13 ^{TN}
J	2.47 ^{TN}	2.64 ^{TN}	1.56 ^{TN}	5.07 cd	0.86 ^{TN}	2.46 ^{TN}
K	2.03 ^{TN}	2.22 ^{TN}	1.48 ^{TN}	4.16 b	1.03 ^{TN}	2.06 ^{TN}
A	1.78 ^{TN}	2.64 ^{TN}	1.71 ^{TN}	5.11 cd	0.83 ^{TN}	3.10 ^{TN}
TK	2.23 ^{TN}	2.79 ^{TN}	1.63 ^{TN}	5.23 cd	0.81 ^{TN}	2.93 ^{TN}
TA	1.71 ^{TN}	2.46 ^{TN}	1.66 ^{TN}	5.45 d	1.08 ^{TN}	3.36 ^{TN}
SK	1.89 ^{TN}	2.40 ^{TN}	1.61 ^{TN}	4.10 b	0.95 ^{TN}	2.37 ^{TN}
SA	2.22 ^{TN}	3.02 ^{TN}	1.60 ^{TN}	4.02 b	0.98 ^{TN}	2.73 ^{TN}
JK	1.83 ^{TN}	2.32 ^{TN}	1.45 ^{TN}	4.30 b	0.91 ^{TN}	2.67 ^{TN}
JA	1.99 ^{TN}	2.81 ^{TN}	1.67 ^{TN}	4.80 c	0.91 ^{TN}	2.93 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Sedangkan, penggunaan jerami sebagai bahan baku pembuatan biochar organik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk N, meningkatkan bobot tanaman serta mampu memperbaiki kesuburan tanah dengan menyediakan unsur hara terutama K, selain itu dapat memperbaiki sifat fisik tanah (Adiningsih *et al.* 1999). Sedangkan, pada tanah Inseptisol dan Entisol lithic subgrup residu biochar tidak memperlihatkan pengaruh nyata pada komponen berat total tanaman musim tanaman kedua. Menurut Steiner *et al* (2007) menyatakan bahwa manfaat kombinasi pemberian biochar dan pemupukan terhadap tanaman sorgum baru akan terlihat setelah musim tanam ketiga.

Indek Luas Daun

Luas daun merupakan salah satu parameter pengamatan analisis pertumbuhan tanaman dimana nilai Indeks luas daun didapatkan dari perbandingan setiap unit luas permukaan tanah yang ditutup oleh daun. luas permukaan organ-organ tanaman yang melakukan fotosintesis atau organ yang mengandung klorofil. Pada ketiga jenis tanah Inseptisol, entisol dan Entisol lithic subgrup tidak menghasilkan hasil yang tidak berbeda nyata di setiap perlakuan baik aplikasi biochar tunggal maupun di kombinasi dengan pupuk organik (Tabel 6).

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 5, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel ILD.

Jenis Tanah

Tabel 1. Menunjukkan pada 6 MST dan 8 MST memiliki nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap ILD baik pada 6 MST maupun 8 MST.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 1. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.550 > \alpha$ (=0.05) dan $0.748 > \alpha$ (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap ILD.

Tabel 5. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.	
	6 MST	8 MST
Jenis Tanah	0.000	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.550	0.748
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.076	0.847
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.988	0.975
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.626	0.144

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 5. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.076 > \alpha (=0.05)$ dan $0.847 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap ILD.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 5. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.988 > \alpha (=0.05)$ dan $0.975 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap ILD.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgroup

Tabel 5. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.626 > \alpha (=0.05)$ dan $0.144 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgroup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap ILD.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol		Entisol		Entisol lithic subgroup	
	6 mst	8mst	6 mst	8mst	6 mst	8mst
Kontrol	1.70 ^{TN}	2.34 ^{TN}	1.24 ^{TN}	1.85 ^{TN}	1.04 ^{TN}	1.47 ^{TN}
T	1.89 ^{TN}	2.57 ^{TN}	1.47 ^{TN}	2.12 ^{TN}	0.83 ^{TN}	1.67 ^{TN}
S	2.18 ^{TN}	2.28 ^{TN}	1.51 ^{TN}	2.39 ^{TN}	1.29 ^{TN}	1.95 ^{TN}
J	2.25 ^{TN}	1.85 ^{TN}	1.41 ^{TN}	2.46 ^{TN}	0.91 ^{TN}	1.53 ^{TN}
K	1.68 ^{TN}	2.34 ^{TN}	1.46 ^{TN}	2.33 ^{TN}	1.08 ^{TN}	1.32 ^{TN}
A	1.63 ^{TN}	2.56 ^{TN}	1.57 ^{TN}	2.34 ^{TN}	0.74 ^{TN}	1.89 ^{TN}
TK	1.71 ^{TN}	2.45 ^{TN}	1.37 ^{TN}	2.32 ^{TN}	0.84 ^{TN}	1.94 ^{TN}
TA	1.48 ^{TN}	2.40 ^{TN}	1.56 ^{TN}	2.42 ^{TN}	1.21 ^{TN}	1.66 ^{TN}
SK	1.79 ^{TN}	2.53 ^{TN}	1.46 ^{TN}	2.36 ^{TN}	0.85 ^{TN}	2.67 ^{TN}
SA	1.99 ^{TN}	2.43 ^{TN}	1.56 ^{TN}	2.21 ^{TN}	1.06 ^{TN}	1.97 ^{TN}
JK	1.59 ^{TN}	2.55 ^{TN}	1.40 ^{TN}	2.21 ^{TN}	0.93 ^{TN}	1.54 ^{TN}
JA	1.65 ^{TN}	2.70 ^{TN}	1.49 ^{TN}	2.31 ^{TN}	0.96 ^{TN}	1.77 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Berdasarkan Tabel 6, pada saat tanaman berumur 6 MST nilai indeks luas daun tertinggi dihasilkan pada perlakuan biochar jengkok tembakau (J) pada tanah entisol dan saat tanaman berumur 8 MST nilai indeks luas daun tertinggi dihasilkan pada perlakuan biochar jengkok-pupuk kandang (TA) pada tanah entisol meskipun dari ketiga jenis tanah tersebut jika di analisa tidak memunculkan hasil yang berbeda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa daun-daun tanaman mampu mengintersepsi cahaya matahari secara maksimal sehingga daun mampu melakukan fotosintesis dengan maksimal. Indeks luas daun mengalami peningkatan dari umur tanaman 6 MST hingga 8 MST.

Menurut Puspa *et al* (2015) Luas daun yang tinggi menggambarkan proses fotosintesis berlangsung, semakin bertambahnya indeks luas daun maka fotosintesis semakin tinggi. Proses fotosintesis yang maksimal akan dapat menghasilkan fotosintat secara maksimal sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Namun menurut Junita *et al* (2002) bahwa luas daun yang besar pada suatu lahan yang luas belum tentu menunjukkan bahwa setiap individu mampu menyerap energi matahari secara efektif. Hal ini terjadi karena antara daun yang satu dengan lainnya dapat saling menaungi, sehingga tidak mendapatkan sinar matahari penuh dan daun yang ternaungi tersebut tidak efektif karena proses fotosintesis terhambat.

Luas Area Spesifik (SLA)

Tabel 4 menunjukkan bahwa umur pada umur 6 MST ketiga jenis tanah memiliki nilai luas daun spesifik yang tidak berbeda nyata. Sedangkan, saat umur 8 MST pada tanah Entisol lithic subgrup nilai luas daun spesifik memiliki hasil yang berbeda nyata. Pertumbuhan nilai SLA pada semua perlakuan menurun hingga umur 8 MST. Hal ini terjadi karena bobot kering tanaman menurun menjelang panen. Perlakuan yang memiliki efisiensi pembentukan luas daun spesifik tertinggi pada fase generatif hingga panen adalah perlakuan kompos pada tanah Entisol lithic subgrup.

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 7, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.	
	6 MST	8 MST
Jenis Tanah	0.034	0.245
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.635	0.211
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.719	0.972
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.772	1.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.242	0.001

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel SLA.

Jenis Tanah

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.034 < \alpha$ (=0.05) dan $0.245 > \alpha$ (=0.05), sehingga pada 6 MST jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap SLA sedangkan pada 8 MST jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap SLA..

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.635 > \alpha$ (=0.05) dan $0.211 > \alpha$ (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap SLA.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.719 > \alpha (=0.05)$ dan $0.972 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap SLA.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.772 > \alpha (=0.05)$ dan $1.000 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap SLA.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 7. menunjukkan nilai sig pada 6 MST dan 8 MST berturut-turut adalah $0.242 > \alpha (=0.05)$ dan $0.001 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap SLA pada 6 MST sedangkan pada 8 MST biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap SLA.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)

Perlakuan	Inseptisol		Entisol		Entisol lithic subgrup	
	6 mst	8mst	6 mst	8mst	6 mst	8mst
Kontrol	156.32 ^{TN}	110.47 ^{TN}	175.30 ^{TN}	121.99 ^{TN}	144.37 ^{TN}	100.56 a
T	126.58 ^{TN}	118.91 ^{TN}	143.83 ^{TN}	102.05 ^{TN}	113.14 ^{TN}	119.51 ab
S	135.31 ^{TN}	96.57 ^{TN}	140.92 ^{TN}	115.54 ^{TN}	125.08 ^{TN}	107.47 a
J	135.54 ^{TN}	76.34 ^{TN}	131.86 ^{TN}	122.12 ^{TN}	123.40 ^{TN}	94.27 a
K	139.56 ^{TN}	127.14 ^{TN}	146.51 ^{TN}	130.89 ^{TN}	175.91 ^{TN}	222.56 b
A	123.35 ^{TN}	113.85 ^{TN}	158.43 ^{TN}	114.77 ^{TN}	118.47 ^{TN}	116.18 ab
TK	123.87 ^{TN}	99.95 ^{TN}	138.76 ^{TN}	112.79 ^{TN}	129.17 ^{TN}	110.71 a
TA	105.97 ^{TN}	107.94 ^{TN}	150.96 ^{TN}	120.40 ^{TN}	131.84 ^{TN}	90.39 a
SK	119.80 ^{TN}	106.65 ^{TN}	132.70 ^{TN}	113.31 ^{TN}	115.26 ^{TN}	183.59 ab
SA	127.25 ^{TN}	99.32 ^{TN}	133.83 ^{TN}	110.62 ^{TN}	153.39 ^{TN}	117.22 ab
JK	117.30 ^{TN}	111.12 ^{TN}	138.45 ^{TN}	106.40 ^{TN}	136.06 ^{TN}	102.69 a
JA	114.78 ^{TN}	113.88 ^{TN}	135.22 ^{TN}	115.94 ^{TN}	133.00 ^{TN}	98.40 a

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 8 menunjukkan bahwa peningkatan spesifik luas area daun cenderung mengalami penurunan pada setiap umur pengamatan. Hasil yang berbeda nyata hanya berlaku pada tanah Entisol lithic subgrup pada umur 8 MST dengan nilai tertinggi 222.56 pada perlakuan aplikasi pupuk organik (kompos) tunggal. Luas daun Spesifik (LDS) atau Specific Leaf Area (SLA) adalah hasil bagi antara luas daun dengan bobot kering daun. LDS mengandung informasi mengenai ketebalan daun yang mencerminkan unit organela fotosintesis. Sitompul dan guritno (1995) Kuantitas cahaya merupakan faktor yang dominan dari biomassa tanaman dalam memicu aktivitas sifat genetik tanaman yang mengendalikan LDS. Tanaman yang memiliki nilai LDS yang rendah akan memiliki daun yang lebih

sempit dan tebal, namun memiliki produksi bobot kering tanaman yang besar. Sutoro *et al.* (2008) menyatakan bahwa nilai LDS tidak berpengaruh langsung terhadap bobot biji.

Berat Jagung tanpa Kelobot

Berat tongkol jagung merupakan hasil utama yang dimanfaatkan oleh petani. Berdasarkan hasil analisis nested design menunjukkan bahwa ada beda nyata atas perlakuan terhadap parameter berat jagung tanpa klobot. Hasil rerata berat jagung tanpa klobot disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 9, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 10.

Tabel 9. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.045

Tabel 9. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel berat jagung tanpa kelobot.

Jenis Tanah

Tabel 9. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap berat jagung tanpa kelobot.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 9. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap berat jagung tanpa kelobot.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 9. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat jagung tanpa kelobot.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 9. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat jagung tanpa kelobot.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 9. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.045) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat jagung tanpa kelobot.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 10.

Berdasarkan Tabel 10, residu dari aplikasi biochar dan pupuk organik baik secara tunggal dan kombinasi di ketiga jenis tanah menunjukkan adanya pengaruh yang nyata terhadap berat jagung tanpa klobot. Pada tanah Inseptisol perlakuan biochar sekam padi-pupuk kandang memiliki hasil yang berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan pupuk kandang dan kontrol. Pada tanah entisol perlakuan biochar sekam padi, biochar tongkol jagung-pupuk kandang, biochar sekam padi-pupuk kandang, biochar jengkok tembakau-kompos dan biochar jengkok tembakau-pupuk kandang berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau dan Kompos. Sedangkan, pada tanah Entisol lithic subgroup perlakuan pupuk kandang secara tunggal memiliki hasil tertinggi pada parameter berat jagung tanpa klobot hasil ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi.

Tabel 10. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

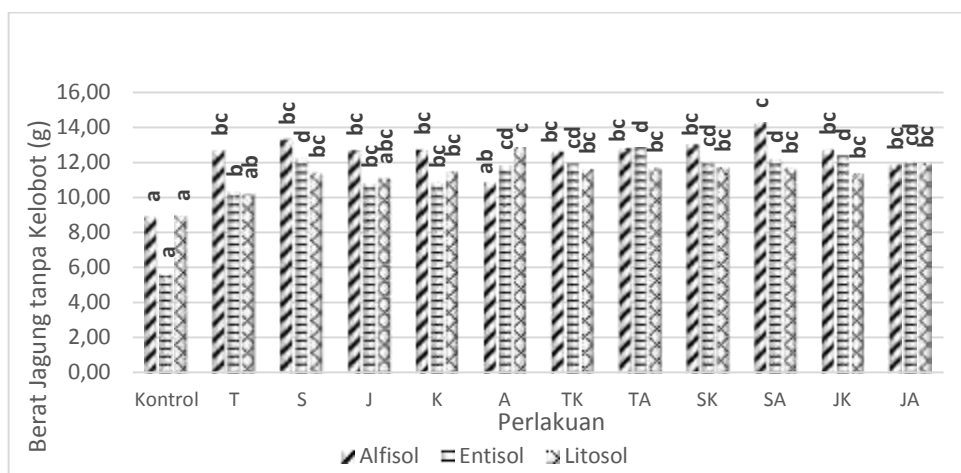
Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgroup
Kontrol	8.85 a	5.66 a	8.92 a
T	12.63 bc	10.26 b	10.13 ab
S	13.25 bc	12.20 d	11.35 bc
J	12.63 bc	10.78 bc	11.01 abc
K	12.67 bc	10.81 bc	11.42 bc
A	10.81 ab	11.81 cd	12.77 c
TK	12.56 bc	11.86 cd	11.56 bc
TA	12.76 bc	12.80 d	11.62 bc
SK	12.97 bc	11.96 cd	11.68 bc
SA	14.21 c	12.19 d	11.59 bc
JK	12.67 bc	12.34 d	11.30 bc
JA	11.82 bc	12.02 cd	11.90 bc

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hasil penelitian di Jepang melaporkan bahwa lahan yang diberi biochar meningkatkan frekuensi bakteri fiksasi nitrogen sebesar 10-15% di Hokkaido dan Tohoku (Honshu Utara), 36-48% di Kanto hingga Chugoku (Honshu sebelah Timur-Barat), dan 59-66% di Kyusu. Biochar yang berasal dari sekam padi mampu menurunkan kandungan residu pestisida di dalam tanah hingga 70%. Pori biochar sebagai rumah ideal bagi bakteri *Pseudomonas* sp yang berfungsi sebagai pendegradasi karbofuran hingga lebih dari 50%. Kualitas arang aktif ditunjukkan dengan nilai daya serap Iod di mana berdasarkan ketetapan dari SNI 06-3730-1995 (Harsanti dan Ardiwinata, 2011). Menurut Murata dan Matshushima (1978) kadar nitrogen tinggi diatas 3,5% sudah cukup untuk merangsang pembentukan anakan tanaman padi, sedangkan pada kadar 2,5% pembentukan anakan akan terhenti, dan bila kadar N tanaman kurang dari 1,5% anakan-anakan akan mati.

Pada penelitian Gusmini dan Anita, 2008 Pemupukan organik dan aplikasi biochar mendapatkan hasil yang nyata terhadap peningkatan berat tongkol tanpa kelobot tanaman jagung. Pemberian biochar yang dikombinasikan dengan pemberian pupuk Urea, SP36 dan KCl dapat meningkatkan kesuburan tanah terutama hara fosfat dan kalium melalui perbaikan sifat fisika tanah sehingga perakaran tanaman dapat tumbuh dengan baik, ketersediaan hara tercukupi sehingga dapat mendorong berat tongkol tanpa kelobot tanaman jagung. Pemberian biochar diikuti oleh penambahan pupuk organik dapat meningkatkan jumlah berat tongkol tanpa kelobot tanaman jagung karena hara tersedia terutama fosfat tercukupi.



Gambar 1. Rata-rata berat jagung tanpa klobot tanah Inseptisol, entisol, Entisol lithic subgrup

Berat Jagung Pipilan Kering

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 11, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 12.

Tabel 11. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.024

Tabel 11. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel berat pipilan kering.

Jenis Tanah

Tabel 11. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap berat pipilan kering.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 11. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap berat pipilan kering.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 11. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat pipilan kering.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 11. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat pipilan kering.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 11. menunjukkan nilai sig (0.024) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat pipilan kering.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 12.

Hasil rerata tertinggi pada tabel 12. dimana berat pipilan kering pada tanah Inseptisol pada perlakuan Biochar sekam padi-pukan yaitu 7,68 kg dan rerata terendah yaitu kontrol (3,48 kg) dan berbeda nyata berdasarkan hasil uji statistik. Pada tanah entisol perlakuan terbaik yaitu Biochar tongkol jagung-pukan dengan hasil tertinggi sebesar 6,90 kg perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Biochar sekam padi dan Kompos Sedangkan, untuk tanah Entisol lithic subgrup perlakuan Pukan memiliki hasil berat pipilan kering tertinggi (6,59 kg) dibandingkan dengan perlakuan Biochar tongkol jagung (5,07 kg). Pemberian biochar diikuti oleh penambahan pupuk organik dapat meningkatkan jumlah hasil (berat pipilan kering) jagung karena hara tersedia terutama unsur nitrogen, fosfat, kalium tercukupi.

Tabel 12. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgrup
Kontrol	3.48 a	2.80 a	4.39 a
T	6.54 b	5.42 b	5.07 ab
S	6.93 b	6.15 cde	5.90 bc
J	6.43 b	5.81 bc	5.40 abc
K	6.76 b	6.09 cd	5.75 bc
A	6.65 b	6.62 def	6.59 c
TK	6.51 b	6.79 ef	5.83 bc
TA	6.96 b	6.90 f	5.93 bc
SK	6.68 b	6.36 cdef	6.07 bc

SA	7.68 b	6.48 cdef	5.84 bc
JK	6.70 b	6.31 cdef	5.66 bc
JA	6.35 b	6.50 def	6.20 bc

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hasil penelitian Gebremedhin et al. (2015) menggunakan empat kombinasi yang berbeda dari biochar dan kompos selain pupuk kimia. Hasil penelitian menunjukkan biochar meningkatkan gabah dan jerami hasil gandum secara signifikan, masing-masing 15,7% dan 16,5%, selama aplikasi NP (kontrol). Selain itu, biomassa akar secara signifikan meningkat sebesar 20%. Hal ini menunjukkan bahwa biochar mempertahankan unsur hara dan air untuk meningkatkan produktivitas gandum. Tanaman segar dan berat kering tomat, tanaman lada dan selada lebih tinggi pada 4 kg /ha dengan perlakuan biochar daripada di perlakuan lainnya. Demikian pula menurut Muhittin Akça and Namli (2015), amandemen tanah dengan biochar meningkatkan hasil tanaman dan aktivitas enzim dengan meningkatnya kandungan bahan organik tanah serta meningkatkan sifat-sifat tanah.

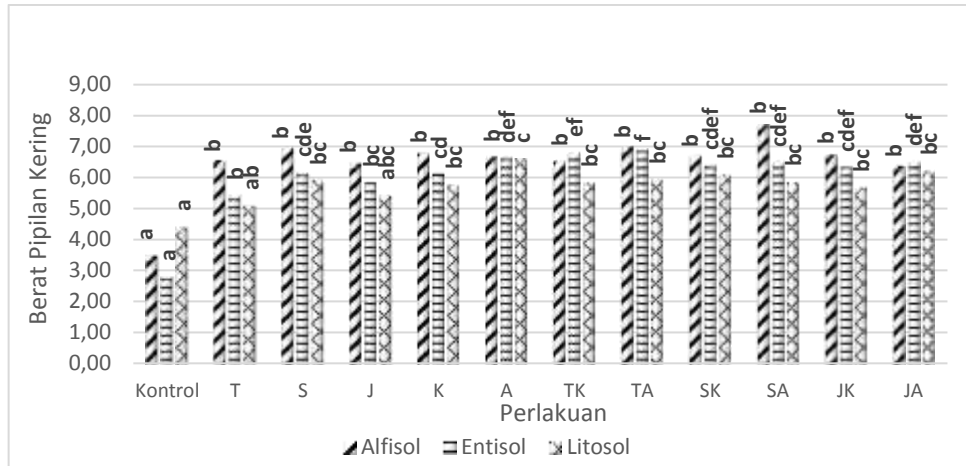
Hasil tanaman meningkat 50,1% dengan pemberian pupuk kandang, tetapi jenis pembenah tanah lainnya meningkat 18,5% pada Entisol Lithic Subgrub. Berbagai jenis pembenah tanah meningkatkan hasil tanaman 92,5% pada Inceptisol. Nampaknya hasil tanaman terbaik pada Entisol Lithic Subgrub dihasilkan dari variasi sifat fisik tanah akibat pemberian pupuk kandang meskipun di akhir pengamatan pupuk kandang menunjukkan kadar bahan organik paling rendah. Meskipun penggunaan biochar jengkok yang tertinggi dalam meningkatkan bahan organik tanah tetapi sifat fisik tanah juga berpengaruh terhadap hasil tanaman jagung. Menurut Ronnie W. Schnell, Donald M. Vietor, Tony L. Provin, Clyde L. Munster, and Sergio Capareda (2012), tingkat nutrisi dalam amandemen biochar secara signifikan lebih rendah dibandingkan pupuk anorganik. Silva et al. (2016) menjelaskan bahwa ketiga jenis biochar meningkatkan sifat tanah dan meningkatkan hasil dan akumulasi nutrisi dalam biji-bijian tanaman kacang. Biochar meningkatkan ketersediaan nutrisi untuk tanaman dan / atau meningkatkan kualitas tanah untuk pertumbuhan tanaman. Menurut Chan et al. (2007), selain biochar mempromosikan perubahan positif dalam kualitas tanah, seperti perbaikan keasaman, meningkat KTK, dan meningkatkan lingkungan untuk pertumbuhan akar. Efek ini meningkatkan efisiensi penggunaan hara yang lebih besar dan penyerapan oleh tanaman.

Tanaman jagung yang ditanam pada tanah berpasir yang mengandung bahan organik tanah yang rendah, unsur hara yang tersedia rendah, dan kapasitas memegang air rendah. Untuk alasan ini, menambah biochar amandemen tanah

bisa menyebabkan peningkatan air dan retensi hara. Dibandingkan dengan tanah saja. Biochar limbah tebu dan kayu putih dapat meningkatkan aerasi tanah dan air infiltrasi (Alicia B. Speratti, Mark S. Johnson, Heiriane Martins Sousa, Gilmar Nunes Torres and Eduardo Guimarães Couto, 2017). Penggunaan jenis bahan pembenah tanah pada tanah liat akan memberikan dampak yang berbeda pada peningkatan hasil tanaman. Ketersediaan sumber daya seperti air dan unsur hara merupakan penentu utama produksi biomassa dan partisi nya antara akar dan tunas (Bonifas et al., 2005). Implikasi dari hasil penelitian ini bahwa setiap jenis tanah membutuhkan input bahan pembenah tanah yang paling efektif untuk meningkatkan hasil tanaman sekalipun tekstur sama (liat). Peningkatan hasil tanaman mencapai 146,4% dari pemberian biochar tongkol+pupuk kandang, sedangkan penggunaan bahan pembenah lainnya meningkat 123,3% pada Entisol. Hasil tanaman tertinggi pada Entisol maupun Entisol Lithic Subgrup (Tabel 5) bukan dihasilkan dari bahan organik tanah tertinggi (Tabel 61). Bahan organik tanah bukan satu-satunya faktor penentu hasil tanaman tetapi masih ada sifat fisik tanah yang saling mempengaruhi akibat perubahan bahan organik tanah. Hasil penelitian ini (khususnya pada tanah liat) sejalan dengan Yeboah et al. (2009), menunjukkan manfaat dari penerapan gabungan dari kotoran ternak dan biochar untuk produksi jagung yang lebih baik. Hasil penelitian ini tidak sejalan dengan Jeffery et al. (2017) yang melakukan meta-analisis untuk menyelidiki kendala tanah dan melaporkan peningkatan hasil tanaman rata-rata 25% di tanah tropis pada penambahan biochar, sebagian besar melalui pengapuran dan pengaruh nutrisi (N dan retensi K, P dan ketersediaan dan penambahan K langsung). Pertanian konservasi merupakan pertanian presisi, yang menggabungkan persiapan lahan minimum, rotasi tanaman, dan retensi residu. Amandemen biochar bisa menjadi kombinasi yang menjanjikan untuk meningkatkan hasil panen pada tanah masam berpasir, namun tidak ada efek signifikan pada hasil panen jagung pada tanah liat netral (Cornelissen et al. 2013).

Selanjutnya Subagyo et al., 2001 menyatakan bahwa pemberian pupuk organik mampu meningkatkan tinggi tanaman kedelai. Pemupukan organik pada tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah yaitu perbaikan sifat kimia tanah berupa peningkatan kandungan dan ketersediaan unsur hara terutama fosfat. Dengan peningkatan ketersediaan hara N, P, dan K maka tanaman tercukupi ketersediaan hara, sehingga dapat meningkatkan hasil (berat pipilan kering) jagung. Tanaman jagung respon terhadap aplikasi biochar dan pemberian pupuk organik. Peningkatan hasil (berat pipilan kering) jagung ini disebabkan oleh perbaikan sifat kimia tanah diantaranya adalah meningkatnya kadar N dan P dalam tanah (Subandi, dkk., 1998). Simanungkalit et al., (2006) pemberian pupuk kandang 5 ton/ha dikombinasikan dengan biochar pada tanaman jagung pada lahan kering masam dapat memberikan hasil biji pipilan kering sebesar 3,4 ton/ha. Secara umum perlakuan pupuk kompos dan biochar pada tanaman jagung di

tanah gambut belum berhasil dikarenakan faktor lingkungan dan kemampuan lahan.



Gambar 2. Rata-rata berat pipilan kering tanah Inseptisol, entisol dan Entisol lithic subgrup

Berat 100 Biji/Tanaman

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 13, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 14.

Tabel 13. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.056
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.007
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.117
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.916

Tabel 13. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel berat 100 biji per tanaman.

Jenis Tanah

Tabel 13. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap berat 100 biji per tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 13. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.056) > \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat 100 biji per tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 13. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.007) < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat 100 biji per tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 13. menunjukkan nilai sig (0.117) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat 100 biji per tanaman.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 13. menunjukkan nilai sig (0.916) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat 100 biji per tanaman.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 14.

Hasil pengamatan berat 100 biji tanaman menunjukkan adanya perbedaan (DMRT<0,05) Tabel 2 pada perlakuan residu biochar dan perlakuan biochar dikombinasikan dengan pupuk organik. Hasil 100 biji tertinggi pada tanah Inseptisol dihasilkan oleh perlakuan Biochar tongkol jagung (T) yaitu sebanyak 35.44 g perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Pukan (A) yang hanya sebanyak 28.33 g. Sedangkan, untuk tanah entisol dan Entisol lithic subgrup tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata di seluruh perlakuan untuk parameter berat 100 biji tanaman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komponen hasil tanaman jagung dalam parameter 100 biji tanaman secara umum dipengaruhi perlakuan biochar dan aplikasi pupuk kandang secara tunggal.

Hasil yang sama ditunjukkan oleh Sukartono *et al.*, (2011), dimana aplikasi biochar untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung di lahan terdegradasi di Lombok. Biochar merupakan bahan organik yang tahan terhadap proses dekomposisi sehingga dapat bertahan lama di dalam tanah. Pengaruh biochar terhadap peningkatan produktivitas tanah mampu melalui perbaikan sifat kimi, biologi, fisika tanah ditunjukkan oleh beberapa penelitian (Glaser *et al*, 2002 ; Lehmann *et al.*, 2003; Chan *et al.*, 2007). Telah banyak dilaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah dan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al*, 2006) , Lehmann *et al.*, (2003) dan Stainer *et al.*, (2007) telah melaporkan adanya peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen pada tanah yang mengandung biochar.

Tabel 14. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgrup
Kontrol	31.33 abc	27.00 ^{TN}	27.67 ^{TN}
T	35.44 c	29.22 ^{TN}	26.34 ^{TN}
S	30.44 abc	31.33 ^{TN}	26.33 ^{TN}
J	32.44 abc	30.00 ^{TN}	26.33 ^{TN}
K	30.88 abc	30.00 ^{TN}	26.33 ^{TN}
A	28.33 ab	30.67 ^{TN}	27.44 ^{TN}
TK	30.44 abc	30.78 ^{TN}	25.11 ^{TN}
TA	30.11 abc	33.33 ^{TN}	26.67 ^{TN}
SK	33.00 abc	31.44 ^{TN}	27.11 ^{TN}
SA	33.77 bc	32.78 ^{TN}	27.56 ^{TN}
JK	30.22 abc	31.11 ^{TN}	27.33 ^{TN}

JA	27.89 a	32.22 ^{TN}	28.67 ^{TN}
----	---------	---------------------	---------------------

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Berat Tongkol tanpa Biji

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 15, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 16.

Tabel 15. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.005
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.007
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.007
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.489

Tabel 15. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig $< \alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel berat tongkol tanpa biji.

Jenis Tanah

Tabel 15. menunjukkan nilai sig (0.000) $< \alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap berat tongkol tanpa biji.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 15. menunjukkan nilai sig (0.005) $< \alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap berat tongkol tanpa biji.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 15. menunjukkan nilai sig (0.007) $< \alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat tongkol tanpa biji.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 15. menunjukkan nilai sig (0.007) $< \alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap berat tongkol tanpa biji.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 15. menunjukkan nilai sig (0.489) $> \alpha(=0.05)$, sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap berat tongkol tanpa biji.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 16.

Tabel 16. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgrup
Kontrol	21.44 a	19.11 a	24.44 ^{TN}
T	28.77 bc	25.22 b	23.89 ^{TN}
S	28.44 bc	26.44 bc	25.56 ^{TN}
J	27.44 abc	27.67 bc	26.00 ^{TN}
K	27.11 abc	27.67 bc	22.44 ^{TN}
A	27.00 abc	29.74 c	22.44 ^{TN}
TK	27.44 abc	25.11 b	23.22 ^{TN}
TA	29.66 bc	27.44 bc	27.22 ^{TN}
SK	24.77 ab	25.67 b	22.78 ^{TN}
SA	31.78 c	26.11 bc	25.33 ^{TN}
JK	27.22 abc	25.22 b	25.33 ^{TN}
JA	25.66 abc	25.44 b	25.33 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Panjang Tongkol

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 17, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 18.

Tabel 17. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.267
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.945
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.009
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.824

Tabel 17. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel panjang tongkol.

Jenis Tanah

Tabel 17. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap panjang tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 17. menunjukkan nilai sig (0.267) > α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap panjang tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 17. menunjukkan nilai sig (0.945) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap panjang tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 17. menunjukkan nilai sig (0.009) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap panjang tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 17. menunjukkan nilai sig (0.824) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap panjang tongkol.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 18.

Tabel 18. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgrup
Kontrol	16.39 ^{TN}	13.50 a	16.33 ^{TN}
T	17.33 ^{TN}	14.30 ab	15.78 ^{TN}
S	17.22 ^{TN}	16.05 cd	16.11 ^{TN}
J	16.94 ^{TN}	14.67 b	16.50 ^{TN}
K	17.00 ^{TN}	16.28 cd	15.78 ^{TN}
A	17.06 ^{TN}	15.94 cd	17.39 ^{TN}
TK	16.61 ^{TN}	16.13 cd	16.61 ^{TN}
TA	16.89 ^{TN}	16.11 cd	16.83 ^{TN}
SK	17.44 ^{TN}	15.59 c	16.56 ^{TN}
SA	17.78 ^{TN}	16.28 cd	16.22 ^{TN}
JK	17.11 ^{TN}	15.89 cd	16.72 ^{TN}
JA	16.56 ^{TN}	16.89 d	16.94 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.**Uji DMRT dengan α =5%

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan pupuk organik dan biochar baik secara tunggal dan kombinasi pada tanah entisol berpengaruh nyata terhadap panjang tongkol jagung. Rata-rata panjang tongkol jagung disajikan pada Tabel 2. Pada tanah entisol perlakuan terbaik yaitu pada perlakuan Biochar jengkok tembakau-pukan (JA) sebesar 16.89 cm perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Biochar sekam padi-kompos (SK) sebesar 15.59 cm, Sedangkan perlakuan Biochar sekam padi-kompos (SK) berbeda nyata dengan perlakuan Biochar jengkok tembakau (J) yang sebesar 14.67 cm. Pemberian biochar diikuti dengan penambahan pupuk kandang dapat meningkatkan jumlah panjang tongkol jagung karena hara tersedia terutama fosfat tercukupi. Pemberian pupuk NPK meningkatkan panjang tongkol jagung (Puslitbangtan, 2010). Pemupukan pada tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah yaitu dengan cara memperbaiki sifat

kimia tanah berupa peningkatan kandungan dan ketersediaan hara sehingga mampu meningkatkan panjang tongkol jagung perbaikan sifat kimia tanah diantaranya yaitu adalah kadar N dan P dalam tanah.

Sedangkan, untuk hasil pengamatan parameter panjang tongkol untuk tanah Inseptisol dan Entisol lithic subgrup menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata di seluruh perlakuan. Hal ini diduga karena peningkatan aktivitas fotosintesis dapat meningkatkan fotosintat yang terbentuk, kemudian transfer ke biji sebagai cadangan makanan. Sehingga makin besar cadangan makanan yang terbentuk dalam biji, semakin besar ukuran biji. Hal tersebut secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap ukuran panjang tongkol. Peningkatan panjang berarti terjadi pula peningkatan jumlah biji yang terdapat pada tongkol. Sebagai akibatnya terjadi peningkatan berat tongkol yang seimbang dengan peningkatan ukuran tongkol dan jumlah biji. Semakin besar ukuran tongkol dan banyaknya biji secara langsung berpengaruh terhadap peningkatan berat tongkol hal ini didukung oleh Lingga (2004) dimana hasil fotosintesis pada tanaman mula - mula digunakan untuk pertumbuhan kemudian untuk pembentukan organ Generatif dan pembentukan biji. Protein yang dibentuk pada akhirnya disimpan dalam biji sebagai lanjutan proses fotosintesis yang semula dipakai untuk menyusun pertumbuhan vegetatif. Setelah pertumbuhan vegetatif berhenti, maka dipindahkan menjadi penimbunan protein didalam biji sebagai cadangan makanan

Diameter Tongkol

Hasil analisis dengan nested design menunjukkan bahwa perlakuan biochar dan pupuk organik baik secara tunggal maupun kombinasi pada tanah Inseptisol dan tanah entisol menunjukkan hasil yang berbeda nyata, sedangkan, pada tanah Entisol lithic subgrup menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata disajikan pada Tabel 19, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 20.

Tabel 19. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.007
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inseptisol	0.002
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol lithic subgrup	0.457

Tabel 19. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel diameter tongkol.

Jenis Tanah

Tabel 19. menunjukkan nilai sig (0.007) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap diameter tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 19. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap diameter tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Inseptisol

Tabel 19. menunjukkan nilai sig (0.002) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Inseptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap diameter tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 19. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap diameter tongkol.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah Entisol lithic subgrup

Tabel 19. menunjukkan nilai sig (0.457) > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah Entisol lithic subgrup, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap diameter tongkol.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 20.

Tabel 20. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Inseptisol	Entisol	Entisol lithic subgrup
Kontrol	4.87 a	4.39 a	4.80 ^{TN}
T	5.32 abc	5.00 b	5.14 ^{TN}
S	5.40 c	5.29 bc	5.21 ^{TN}
J	5.33 abc	5.30 bc	5.14 ^{TN}
K	5.27 abc	5.08 bc	5.08 ^{TN}
A	4.90 ab	5.28 bc	5.23 ^{TN}
TK	5.34 abc	5.41 c	5.12 ^{TN}
TA	5.44 c	5.24 bc	5.16 ^{TN}
SK	5.39 bc	5.19 bc	5.17 ^{TN}
SA	5.54 c	5.21 bc	5.21 ^{TN}
JK	5.24 abc	5.14 bc	5.07 ^{TN}
JA	5.20 abc	5.31 bc	5.19 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan α =5%

Pada tanah Inseptisol perlakuan biochar sekam padi (S), biochar tongkol jagung-pukan (TA) dan biochar sekam padi-pukan (SA) merupakan perlakuan yang memiliki rata-rata diameter tongkol yang tertinggi yaitu sebesar 5.40 cm,

5.44 cm dan 5.54 cm ketiga perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Pukan (A) 4,90 cm. Pada tanah entisol perlakuan biochar tongkol jagung-kompos (TK) sebesar 5,41 cm merupakan perlakuan terbaik dalam menghasilkan rata-rata diameter tongkol jagung perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung (T) sebesar 5,00 cm. Sedangkan, pada tanah Entisol lithic subgrup menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata di seluruh perlakuan.

Pemupukan organik nyata meningkatkan diameter tongkol tanaman jagung. Pemberian biochar yang dikombinasikan dengan pemberian pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah terutama hara fosfat dan kalium melalui perbaikan sifat fisika tanah sehingga dapat memperbesar diameter tongkol tanaman jagung. Pemberian biochar diikuti dengan penambahan pupuk organik dapat meningkatkan diameter jagung (Puslitbangtan, 2009). Pemupukan organik pada tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan memperbaiki sifat kimia tanah berupa peningkatan kandungan dan ketersediaan unsur hara sedangkan penambahan biochar mampu memperbaiki kualitas tanah sehingga kombinasi dari aplikasi biochar dan pupuk organik berpengaruh terhadap besarnya diameter tongkol. Tanaman jagung mampu dengan cepat merespon pemberian pupuk. Peningkatan diameter tongkol jagung ini disebabkan oleh adanya perbaikan sifat kimia tanah dan kualitas tanah (Subandi, 2003).

5.1.2. SIFAT KIMIA TANAH SAAT PERTUMBUHAN VEGETATIF MAKSIMAL

pH 1:1 H₂O

Hasil analisis nested design menunjukkan bahwa pada tanah entisol lithic subgrup dan inceptisol tidak terjadi interaksi antar perlakuan terhadap pengamatan pH. Sedangkan, pada tanah entisol terdapat interaksi antar perlakuan terhadap pengamatan pH tanah. Hasil analisa nested design disajikan pada Tabel 21, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 22.

Tabel 21. Hasil analisis nested design pH 1:1 H₂O

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.040
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.027
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.702
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.035

Tabel 21. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat pH

Jenis Tanah

Tabel 21. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap pH 1:1 H₂O.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 21. menunjukkan nilai sig adalah 0.040 < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap pH 1:1 H₂O.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 1. menunjukkan nilai sig adalah 0.027 < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH 1:1 H₂O.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 21. menunjukkan nilai sig adalah 0.702 > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap pH 1:1 H₂O.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 21. menunjukkan nilai sig adalah 0.035 < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap pH 1:1 H₂O. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 22.

Tabel 22. Hasil uji DMRT pH 1:1 H₂O pada masing-masing jenis tanah

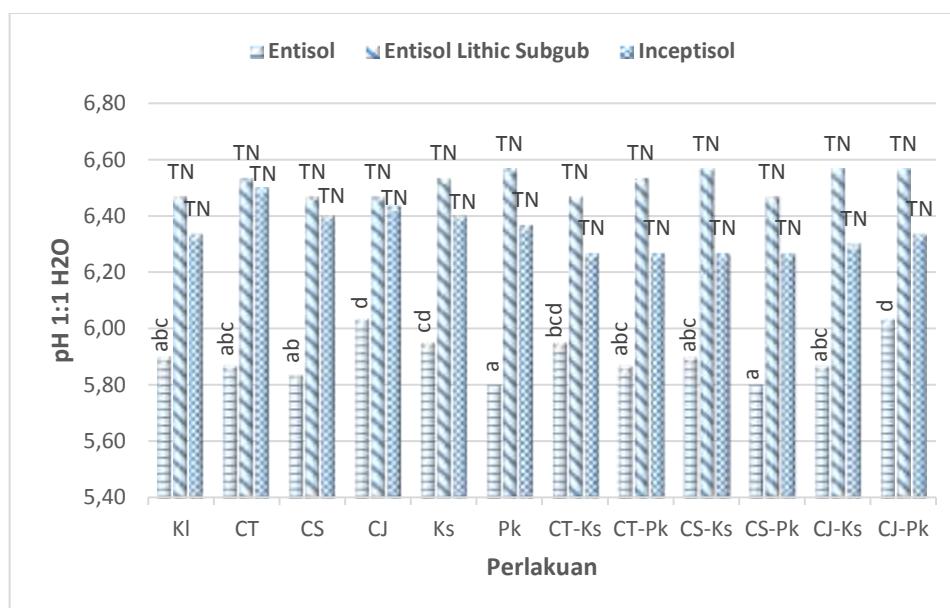
Perlakuan	pH 1:1 H ₂ O		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	5.90 abc	6.47 ^{TN}	6.33 ^{TN}
CT	5.87 abc	6.53 ^{TN}	6.50 ^{TN}
CS	5.83 ab	6.47 ^{TN}	6.40 ^{TN}
CJ	6.03 d	6.47 ^{TN}	6.43 ^{TN}
Ks	5.95 cd	6.53 ^{TN}	6.40 ^{TN}
Pk	5.80 a	6.57 ^{TN}	6.37 ^{TN}
CT-Ks	5.95 bcd	6.47 ^{TN}	6.27 ^{TN}
CT-Pk	5.87 abc	6.53 ^{TN}	6.27 ^{TN}
CS-Ks	5.90 abc	6.57 ^{TN}	6.27 ^{TN}
CS-Pk	5.80 a	6.47 ^{TN}	6.27 ^{TN}
CJ-Ks	5.87 abc	6.57 ^{TN}	6.30 ^{TN}
CJ-Pk	6.03 d	6.57 ^{TN}	6.33 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan α =5%

Hasil pengamatan pH tanah yang telah diamati menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang diaplikasikan ke tanah entisol menunjukkan hasil yang berbeda nyata di setiap perlakuan, sedangkan untuk tanah entisol lithic subgub dan inceptisol tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata disetiap perlakuannya. Pada tanah entisol biochar berpengaruh terhadap nilai pH tanah dimana pH tertinggi yaitu 6,03 pada perlakuan biochar jengkok tembakau (CJ) dan Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ-Pk). Kedua perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Kontrol 5.90, Biochar tongkol jagung-CT (5.87), Biochar tongkol jagung pukan - CTPk (5.87), Biochar sekam padi kompos-CS-Ks (5.90) dan Biochar jengkok tembakau kompos- CJKs (5.87).



Gambar 3. Rata- rata nilai pH tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

Pemberian biochar dari bahan baku yang berbeda mampu meningkatkan pH tanah entisol. Hal tersebut dikarenakan biochar jengkok tembakau yang digunakan memiliki pH tinggi. menurut Solaiman dan anwar (2015) tingkat alkalinitas dalam biochar merupakan salah satu faktor biochar berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Selain itu biochar juga dapat mengikat C-Organik di tanah sehingga akan tetap stabil dan tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme. Aplikasi biochar memiliki dua manfaat yaitu sebagai pembenah tanah dan peningkatan produksi tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Suryani (2013) yang menunjukkan bahwa pemberian biochar pada tanah ultisol nyata adanya dalam meningkatkan pH tanah, K-dd dan serapan K, serta mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman caisim.

Menurut DeLuca, *et al* (2009) biochar dapat mengubah pH tanah dan bertindak sebagai ameliorator kompleksasi P oleh logam (Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+}); Penambahan biochar dapat meningkatkan pH pada tanah masam karena adanya peningkatan konsentrasi logam alkali oksida (Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^{+}) di biochar yang dapat mengurangi konsentrasi Al^{3+} didalam tanah.

N total

Nitrogen total tanah menggambarkan kandungan seluruh unsur nitrogen yang ada di dalam tanah baik yang berupa tersedia maupun dalam bentuk tidak tersedia/ masih menyatu sebagai senyawa organik. Pada ketiga jenis tanah tersebut menunjukkan hasil yang berbeda nyata disetiap perlakuan baik aplikasi biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 23, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 24.

Tabel 23. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel N total.

Tabel 23. Hasil analisis nested design N total

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.000

Jenis Tanah

Tabel 23. menunjukkan nilai sig ($0.000 < \alpha (=0.05)$), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap N total.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 23. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap N total.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 23. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap N total.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 23. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap N total.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 23. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan

terhadap N total. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 24.

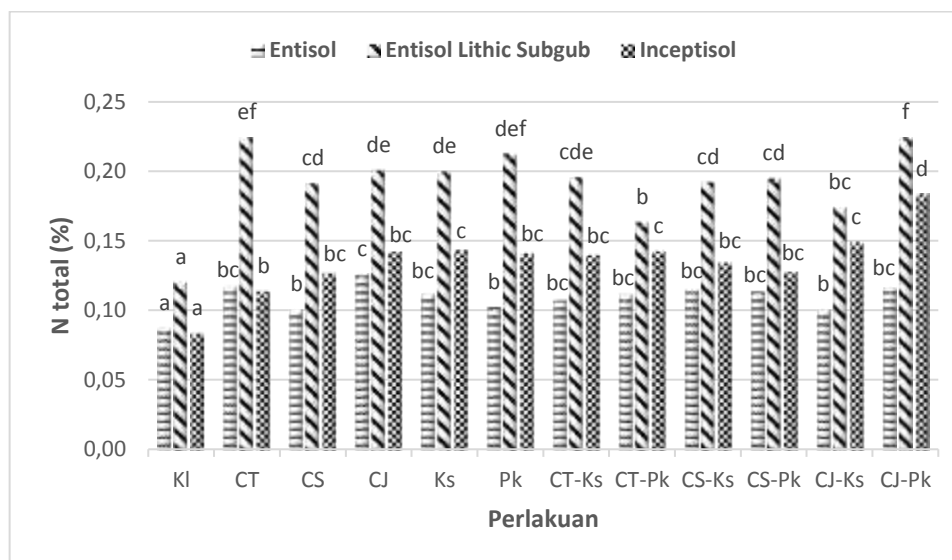
Pada tanah entisol nilai N Total terbaik yaitu pada perlakuan CJ yaitu sebesar 0.13%, perlakuan Biochar jengkok tembakau (CJ) berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi (CS), pukan (Pk), biochar jengkok tembakau-kompos (CJKs) yang memiliki nilai N total sebesar 0,11%. Sedangkan pada tanah entisol lithic subgub nilai N total terbaik yaitu pada perlakuan Biochar jengkok tembakau pukan (CJPk) dengan nilai 0.22% perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau (CJ), kompos (Ks) dengan nilai 0,20%, Sedangkan untuk tanah ketiga yaitu inceptisol memiliki hasil N total terbaik yaitu pada perlakuan biochar jengkok tembakau pukan (CJPk) sebesar 0,18% perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kompos (Ks) : 0,14%, biochar jengkok tembakau-pukan (CTPk) : 0,14%, Biochar jengkok tembakau-kompos (CJKs) : 0,15%. Dari ketiga jenis tanah diatas nilai kandungan N Total tertinggi yaitu pada tanah entisol lithic subgub dengan nilai N total sebesar 0,22% yaitu pada perlakuan biochar jengkok tembakau-pukan (CJPk).

Tabel 24. Hasil uji DMRT N total pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	N total (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	0.09 a	0.12 a	0.08 a
CT	0.12 bc	0.22 ef	0.11 b
CS	0.10 b	0.19 cd	0.13 bc
CJ	0.13 c	0.20 de	0.14 bc
Ks	0.11 bc	0.20 de	0.14 c
Pk	0.10 b	0.21 def	0.14 bc
CT-Ks	0.11 bc	0.20 cde	0.14 bc
CT-Pk	0.11 bc	0.16 b	0.14 c
CS-Ks	0.11 bc	0.19 cd	0.13 bc
CS-Pk	0.11 bc	0.19 cd	0.13 bc
CJ-Ks	0.10 b	0.17 bc	0.15 c
CJ-Pk	0.12 bc	0.22 f	0.18 d

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 4. N Total pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

Pengaruh positif biochar terhadap kesuburan biologi tanah terjadi melalui peningkatan aktivitas jasad mikro tanah sehingga dapat meningkatkan komposisi dan biomassa jasad mikro tanah (Steiner *et al.*, 2007). Peningkatan koloni mycorhyza karena penggunaan biochar telah dibuktikan oleh Warnock *et al* (2007) Rondon *et al*, (2007) menunjukkan bahwa penggunaan biochar meningkatkan fiksasi nitrogen pada tanaman polong. Menurut Nguyen, *et al* (2017) aplikasi biochar dapat meningkatkan kelembaban dan pH tanah, sehingga merangsang proses mineralisasi Nitrogen dan nitrifikasi yang menyebabkan serapan tanaman meningkat. Biochar meningkatkan Nitrogen anorganik yang dibutuhkan untuk asimilasi tanaman dengan meningkatkan retensi dan mengurangi dampak dari pencucian Nitrogen. Penggunaan biochar dari limbah hasil pertanian telah terbukti dimana mampu meningkatkan hasil tanaman wortel serta meningkatkan kandungan unsur Nitrogen (Chan *et al.*, 2007) .

Bahan organik

Bahan organik merupakan salah satu faktor pembatas yang sangat berperan dalam menambahkan hara dan sebagai penyangga unsur hara. Indikasi bahan organik dalam tanah dapat dilihat dari kandung C-Organik dan N Total sehingga diperoleh nisbah C/N yang dapat dipakai untuk mnduga ketersediaan hara dari proses mineralisasi bahan organik. Pada ketiga jenis tanah mampu menghasilkan hasil bahan organik yang berbeda nyata disemua perlakuan. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 25, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 26.

Tabel 25. Hasil analisis nested design bahan organik

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000

Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.005
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.000

Tabel 25. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai $\text{sig} < \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel bahan organik.

Jenis Tanah

Tabel 25. menunjukkan nilai $\text{sig} (0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 25. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 25. menunjukkan nilai sig adalah $0.005 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 25. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Berdasarkan hasil analisa menunjukkan bahwa Tabel 26. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 26.

Tabel 26. Hasil uji DMRT bahan organik pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bahan Organik (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	1.21 abc	1.36 a	1.19 a
CT	1.63 de	3.76 g	2.07 b
CS	1.19 abc	2.52 cde	2.05 b
CJ	1.72 e	2.71 de	2.36 b
Ks	1.26 abcd	2.54 cde	2.09 b
Pk	0.96 a	2.39 c	2.13 b
CT-Ks	1.54 cde	3.03 f	1.98 b
CT-Pk	1.41 bcde	1.99 b	2.18 b
CS-Ks	1.06 ab	2.36 c	2.01 b
CS-Pk	1.27 abcd	2.76 e	2.08 b
CJ-Ks	1.20 abc	2.44 cd	2.26 b

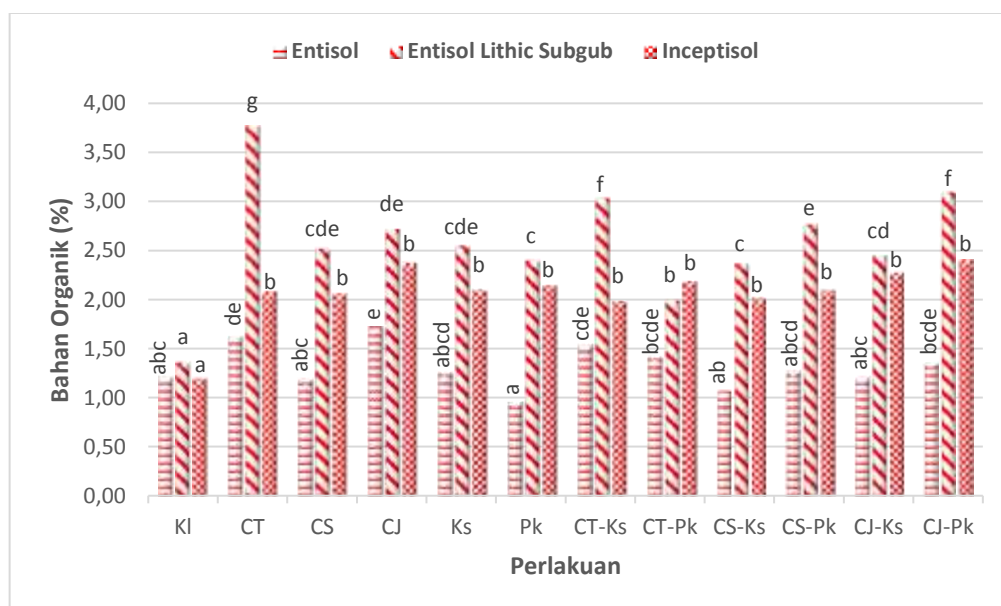
CJ-Pk	1.36 bcde	3.09 f	2.40 b
-------	-----------	--------	--------

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada tanah entisol perlakuan biochar jengkok tembakau (CJ) merupakan perlakuan terbaik dalam parameter pengamatan kandungan bahan organik yaitu sebesar 1,72% perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kompos –Ks (1.26%) dan biochar sekam padi pukan-CSPk (1.36%). Pada tanah entisol lithic subgub perlakuan terbaik untuk parameter bahan organik yaitu perlakuan biochar tongkol jagung-CT (3.76%), perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar sekam padi kompos- CTKs (3.03 %) dan biochar jengkok tembakau pukan- CJPk (3.09%). Pada tanah inceptisol parameter bahan organik semua perlakuan biochar baik secara tunggal maupun kombinasi memiliki hasil yang berbeda nyata dengan kontrol.

Dengan adanya perbaikan kesuburan fisik, kimia dan biologi banyak penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan biochar mampu memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil tanaman (Lehmann *et al.*, 2003) . hasil penelitian Yamato *et al* (2006) menunjukkan bahwa penggunaan biochar dari kayu mampu meningkatkan hasil tanaman jagung, kacang tanah dan kacang tunggak. Chan *et al* (2008) dan Tagoe *et al* (2008) menggunakan biochar berbahan baku kotoran ayam untuk memperbaiki hasil dan pertumbuhan tanaman. Masulili *et al.*, (2010) menyatakan bahwa penggunaan biochar dari sekam padi dapat memperbaiki sifat tanah masam, yaitu meningkatkan kandungan bahan organik, kemampuan tanah mengikat air tersedia, KTK tanah dan menurunkan kelarutan aluminium serta kekuatan tanah. Dengan adanya perbaikan sifat tanah pada penelitian Sukartono *et al.*, 2011 ini penggunaan biochar abu sekam dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman padi.



Gambar 5. Bahan organik pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

Peningkatan efisiensi pemupukan sebagai salah satu akibat dari penggunaan biochar yang telah dilaporkan Steiner *et al.*, (2007) dimana peningkatan efisiensi pemupukan terjadi sebagai akibat adanya KTK yang tinggi pada biochar sehingga mampu menyerap hara pada pupuk dan selanjutnya memperkecil kehilangan hara karena pencucian. Hasil penelitian Islami, T (2012) menunjukkan bahwa residu biochar mampu bertahan lama di dalam tanah sehingga akan tetap mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman. Selain itu biochar juga dapat mengikat C-Organik di tanah sehingga tetap stabil dan tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme. Hammes dan Schmidt (2009) menyatakan grup pembagian dipermukaan biochar dapat menyerap C-Organik yang ada di dalam tanah.

Pupuk organik sangat populer karena dapat mengatasi masalah kekurangan unsur hara pada tanaman dan bahan organik. Pupuk organik berperan sebagai penyangga dan mempertahankan kelengasan tanah. Cara-cara tradisional untuk meningkatkan bahan organik tanah, seperti penutup tanah, meninggalkan sisa tanaman setelah panen, dan menerapkan pupuk kandang, sering sulit karena ketersediaan air dan salinitas (Magdoff, 2001). Penerapan bahan organik untuk amandemen tanah memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas fisik tanah. Novak *et al.* (2009) menyatakan porositas yang meningkat dari biochar dapat meningkatkan retensi air dalam tanah. Kapasitas memegang air tanah dan air yang tersedia bagi tanaman di tanah liat dan tanah lempung berpasir ditingkatkan dengan biochar (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2014). Verheijen (2010) mengemukakan bahwa retensi air tanah ditentukan oleh distribusi dan konektivitas dari pori-pori di media tanah, yang sebagian besar diatur oleh ukuran partikel tanah (tekstur), dikombinasikan dengan karakteristik struktural (agregasi) dan kadar bahan organik tanah. Hasil penelitian Nyambo *et al.* (2018), setelah 140 hari, biochar meningkatkan pH tanah antara 0,34-1,51 poin, karbon organik tanah sebesar 2,2% menjadi 2,34%, dan aktivitas mikroba oleh 496-1.615 mg kg⁻¹ dibandingkan dengan kontrol. Biochar adalah produk yang telah dikenal selama bertahun-tahun, tapi sekarang sedang ditemukan kembali. Sejumlah studi yang dilakukan di seluruh dunia telah menunjukkan peran positif dalam proteksi lingkungan, pertanian dan pengelolaan limbah (Czekala *et al.*, 2019). Efek positif dari biochar pada sifat-sifat tanah diwujudkan melalui peningkatan kesuburan tanah. Scislowska *et al.* (2015) menjelaskan bahwa biochar, terlepas dari asal, secara nyata meningkatkan pH semua jenis tanah (0,1-0,9 unit), dengan dampak terbesar pada tanah pasir, meningkatkan karbon tanah dan kapasitas memegang air pada tingkat yang lebih tinggi dari amandemen tergantung pada jenis tanah dan biochar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahan organik tanah dan sifat fisik tanah mengalami perubahan secara signifikan setelah dua tahun menerapkan jenis pembenah tanah pada ketiga jenis tanah. Setiap jenis biochar ataupun pupuk organik yang diterapkan secara tunggal maupun dicampur pada jenis tanah menunjukkan pengaruh secara nyata (Tabel 61).

Fryda and Visser (2015) melaporkan bahwa produksi biochar tidak mungkin dari satu ukuran cocok untuk semua karakter. Tiga jenis biochar yang digunakan pada penelitian ini menunjukkan pengaruh yang bervariasi pada masing-masing jenis tanah (Tabel 62). Kadar bahan organik meningkat 176,5% dari 1,36% (kontrol) menjadi 3,76% (biochar tongkol jagung) pada Entisol Lithic Subgrup, meningkat 80,4% dari 1,19% (kontrol) menjadi rata-rata 2,15% (jenis pembenah tanah) pada Inceptisol, dan meningkat 42,1% dari 1,21% (kontrol) menjadi 1,72% (biochar jengkok tembakau) pada Entisol. Implikasi selanjutnya dengan memahami pengaruh pemberian jenis biochar maupun pupuk organik akan bermanfaat untuk memaksimalkan kepentingan aplikasi di suatu jenis tanah.

Menurut Akça and Namli (2015), dibandingkan dengan kontrol dan pupuk kimia saja, bahan organik tanah secara signifikan meningkat setelah amandemen biochar. β -glukosidase, alkaline phosphatase, urease dan aktivitas enzim arylsulphatase di tanah meningkat dengan aplikasi biochar secara signifikan. Enzim adalah katalis dekomposisi bahan organik dalam tanah. Aktivitas enzim tanah telah berhubungan dengan karakteristik fisika-kimia tanah (Amador et al., 1997; Kussainova et al. 2013)

Jenis bahan pembenah tanah yang ditambahkan pada penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan kadar BOT pada lahan kering. BOT dapat berkontribusi terhadap agregasi tanah sehingga stabilitas agregat tanah meningkat. Arthur et al. (2014) mengamati ada hubungan antara karbon organik tanah dan agregasi ketika beberapa jenis tanah yang diubah dengan $7,5 \text{ t ha}^{-1}$ pupuk kandang. Agregasi sebagai indikator penting dari kualitas dan fungsi tanah. Biochar dalam tanah dapat meningkatkan stabilitas agregat tanah (Obia et al., 2016). Menurut Fungo et al. (2017), aplikasi biochar saja tidak mempengaruhi stabilitas agregat pada Ultisol dalam waktu dua tahun. Namun bila diterapkan bersama-sama dengan *T. diversifolia* sebanyak $2,5 \text{ t ha}^{-1}$, proporsi agregat tanah meningkat dan mengakibatkan BOT meningkat di mikro agregat.

Pupuk organik berfungsi sebagai penyangga, penahan lengas tanah, dan sumber hara. Kualitas pupuk organik dipengaruhi oleh komposisi bahan dasar dan tingkat dekomposisinya. Pada penelitian ini pemberian pupuk kandang maupun kompos memberikan pengaruh yang relatif sama terhadap kadar bahan organik tanah setelah 2 tahun di ketiga jenis tanah. Kadar bahan organik tanah lebih cepat menurun dengan hanya aplikasi pupuk kandang (Entisol dan Entisol Lithic Subgub). Ukuran pupuk kandang lebih kecil daripada kompos sehingga lebih cepat terdekomposisi. Kelembaban tanah, penyediaan oksigen, maupun kadar liat akan mempengaruhi dekomposisi bahan organik tanah. Dekomposisi bahan organik yang cepat pada kondisi tropis tentu bukan menjadi pilihan bahan pembenah tanah. Oleh karena itu, pentingnya menerapkan biochar sebagai amandemen organik yang potensial sehingga meningkatkan kualitas tanah dalam jangka panjang. Pemilihan jenis bahan pembenah tanah merupakan tindakan penting untuk menentukan kecepatan dekomposisi bahan organik.

Kadar bahan organik meningkat dibanding kontrol di ketiga jenis tanah. Jenis biochar mempengaruhi kenaikan bahan organik tanah pada Entisol Lithic

Subgub (tongkol jagung) dan Entisol (jengkok). Peningkatan bahan organik tanah tertinggi tidak diikuti dengan perbaikan terbaik pada sifat fisik tanah di setiap jenis tanah maupun hasil tanaman. Hasil tanaman terbaik tidak dihasilkan dari kadar bahan organik tertinggi pada masing-masing jenis tanah. Peningkatan bahan organik tanah dengan pemberian jenis biochar dapat meningkatkan dan atau menurunkan beberapa sifat fisik tanah di masing-masing jenis tanah. Ahmed et al. (2017), sifat-sifat tanah seperti bahan organik, fosfor, sulfur dan persentase seng secara signifikan meningkat dengan baik (mineral diperkaya dan sekam padi) biochar diperlakukan tanah diterapkan dengan atau tanpa dosis basal dianjurkan NPK dibandingkan kontrol dan hanya dosis basal dianjurkan NPK, masing-masing

Perubahan bahan organik tanah dan sifat fisik tanah juga mendapat pengaruh dari bahan organik segar yang dihasilkan dari akar tanaman jagung musim tanam pertama yang dibiarkan mengalami dekomposisi di dalam media tanam. Pandit (2018) menyatakan biochar meningkatkan kelembaban tanah, kalium dan fosfor tersedia, biochar jauh lebih efektif di air tanah yang berlimpah (+ 311% biomassa) dibandingkan pada kondisi kekurangan air (+ 67% biomassa), selain itu biochar memiliki efek yang lebih kuat dalam kondisi unsur hara yang tertekan (+ 363%) daripada di bawah aplikasi unsur hara berlimpah (+ 132%). Setiap musim tanam jagung (I dan II) dilakukan pemupukan urea, SP₃₆, dan KCl yang tentunya meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman sehingga bahan organik segar yang ditambahkan melalui akar akan bertambah.

P. Bray1

Fosfor tersedia adalah unsur fosfor yang terdapat di dalam tanah dalam bentuk tersedia bagi tanaman serta dapat dimanfaatkan oleh tanaman untuk melakukan proses metabolisme. Bentuk P yang terdapat pada bahan induk tanah sebelum pertumbuhan dan pembentukan tanah pada umumnya sering dijumpai sulit tersedia bagi tanaman. Nilai P tersedia di dalam tanah dapat pula diartikan sebagai P tanah yang dapat diekstraksi oleh asam sitrat dan air. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 27, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 28.

Tabel 27. Hasil analisis nested design P.Bray1

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.001

Tabel 27. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat

disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel P.Bray1.

Jenis Tanah

Tabel 27. menunjukkan nilai sig ($0.000 < \alpha (=0.05)$), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap P.Bray1.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 27. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 27. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 27. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 27. menunjukkan nilai sig adalah $0.001 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap P.Bray1.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 28.

Pada tanah entisol perlakuan Pukan (Pk) merupakan perlakuan yang memiliki hasil P tertinggi yaitu sejumlah 62.25 mg.kg^{-1} perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau pukan- CJPk (52.64 mg.kg^{-1}) sedangkan perlakuan biochar jengkok tembakau pukan- CJPk berbeda nyata dengan biochar tongkol jagung pukan- CTPk (44.31 mg.kg^{-1}) dan biochar jengkok tembakau kompos- CJKs (43.66 mg.kg^{-1}). Pada tanah entisol lithic subgub didapati bahwa hasil analisa P terbaik yaitu pada perlakuan Pukan - Pk (17.40 mg.kg^{-1}), perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar jengkok tembakau- CJ (13.25 mg.kg^{-1}), biochar sekam padi pukan- CSPk (14.33 mg.kg^{-1}) dan biochar jengkok tembakau pukan- CJPk (13.15 mg.kg^{-1}). Sedangkan, pada tanah inceptisol perlakuan biochar tongkol jagung pukan- CTPk memiliki hasil analisa P tertinggi yaitu sebesar 8.46 mg.kg^{-1} perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kompos- Ks (6.31 mg.kg^{-1}) sedangkan perlakuan kompos (Ks) berbeda nyata dengan perlakuan Pukan- Pk (5.59 mg.kg^{-1}).

Pemberian biochar ini juga mampu meningkatkan P tersedia di tanah berdasarkan jenis dan asal bahan bakunya. Sesuai dengan Guo *et al* (2014) yang menyatakan bahwa biochar kotoran sapi dapat meningkatkan nilai P di tanah karena dapat mengurangi pencucian dan mampu menjerap unsur hara dalam tanah. Hal ini sesuai Novak, *et al* (2009) yang menyatakan bahwa biochar yang diproduksi dengan suhu rendah akan menghasilkan gugus fungsional yang berfungsi dalam pertukaran hara setelah oksidasi lebih banyak, dibandingkan

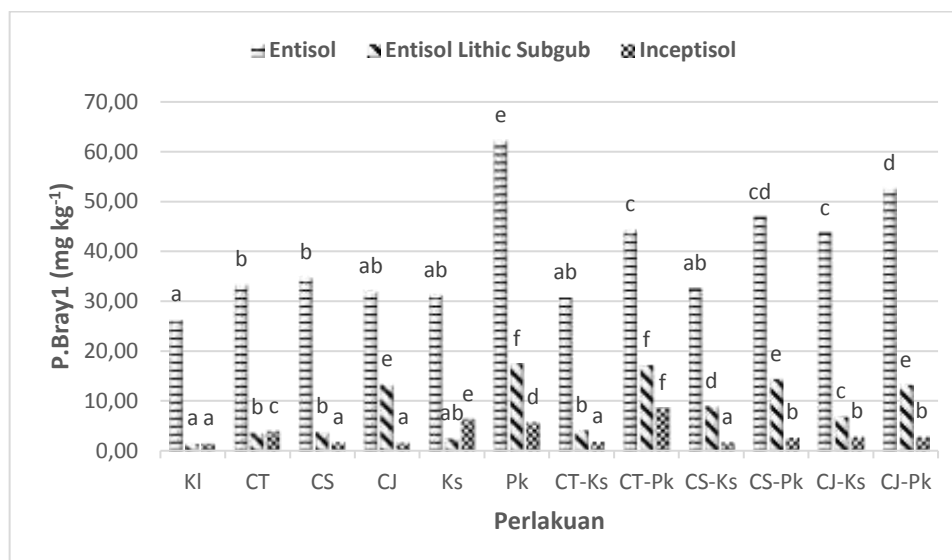
dengan biochar yang diperoleh dengan suhu tinggi. Gugus fungsional tersebut dapat mengadsorpsi Al^{3+} sehingga membebaskan unsur hara P yang terfiksasi dan menjadi tersedia untuk tanaman. Satriawan dan Handayanto (2015) menyatakan unsur hara P yang diserap oleh akar tanaman tergantung pada jumlah dan ketersediaan unsur P di dalam tanah. Sedangkan menurut Soepandi (2013) tanaman memerlukan unsur hara P untuk perkembangan akar, mempercepat pembungaan dan pematangan serta pembentukan akar dan biji.

Tabel 28. Hasil uji DMRT P.Bray1 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	P.Bray1 (mg kg ⁻¹)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	26.28 a	1.51 a	1.47 a
CT	33.35 b	3.64 b	3.91 c
CS	34.77 b	3.81 b	1.75 a
CJ	32.00 ab	13.25 e	1.64 a
Ks	31.24 ab	2.43 ab	6.31 e
Pk	62.25 e	17.40 f	5.59 d
CT-Ks	30.72 ab	4.10 b	1.79 a
CT-Pk	44.31 c	17.11 f	8.46 f
CS-Ks	32.50 ab	8.92 d	1.68 a
CS-Pk	46.86 cd	14.33 e	2.63 b
CJ-Ks	43.66 c	6.84 c	2.78 b
CJ-Pk	52.64 d	13.15 e	2.78 b

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 6. Kandungan P pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

K NH₄OAC1N pH:7

Berdasarkan hasil analisis dengan nested design menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada parameter pengamatan unsur Kalium pada tanah entisol lithic subgub dan inceptisol. Sedangkan, pada tanah entisol pengamatan unsur kalium tidak berbeda nyata diseluruh perlakuan. Hasil analisis nested design disajikan pada Tabel 29, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 30.

Tabel 29. Hasil analisis nested design K NH₄OAC1N pH:7

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.149
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.000

Tabel 29. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel K NH₄OAC1N pH:7.

Jenis Tanah

Tabel 29. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap K NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 29. menunjukkan nilai sig adalah 0.000 < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap K NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 29. menunjukkan nilai sig adalah $0.149 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap K NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 29. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap K NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 9. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap K NH₄OAC1N pH:7.

Pada tanah entisol lithic subgub perlakuan terbaik dalam parameter kandungan K NH₄OAC1N pH:7 yaitu adalah perlakuan biochar tongkol jagung kompos- CTKs (1,50 me/100g), biochar sekam padi pukan- CSPk (1.46 me/100g) dan biochar jengkok tembakau pukan- CJPk (1,56 me/100g) pada ketiga perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kompo- Ks (0.69 me/100g). Pada tanah inceptisol perlakuan K NH₄OAC1N pH:7 terbaik yaitu pada biochar sekam padi pukan- CTPk (2,23 me/100g) perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan pukan- Pk (1.48 me/100g) dan biochar tongkol jagung pukan- CTPk (1.50 me/100g). Sedangkan, pada tanah entisol perlakuan biochar yang diaplikasikan secara tunggal dan kombinasi tidak memiliki hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan kontrol.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 30.

Tabel 30. Hasil uji DMRT K NH₄OAC1N pH:7 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	K NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	0.41 ^{TN}	0.34 a	0.73 a
CT	0.74 ^{TN}	1.08 bcd	0.89 ab
CS	0.45 ^{TN}	0.87 bc	1.37 abc
CJ	0.51 ^{TN}	1.02 bcd	1.79 cd
Ks	0.39 ^{TN}	0.69 ab	0.86 ab
Pk	0.23 ^{TN}	1.21 bcd	1.48 bc
CT-Ks	0.49 ^{TN}	1.50 d	1.80 cd
CT-Pk	0.91 ^{TN}	1.26 cd	1.50 bc
CS-Ks	0.31 ^{TN}	1.06 bcd	1.94 cd
CS-Pk	0.46 ^{TN}	1.46 d	2.23 d
CJ-Ks	0.72 ^{TN}	1.29 cd	1.98 cd
CJ-Pk	0.46 ^{TN}	1.56 d	1.86 cd

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

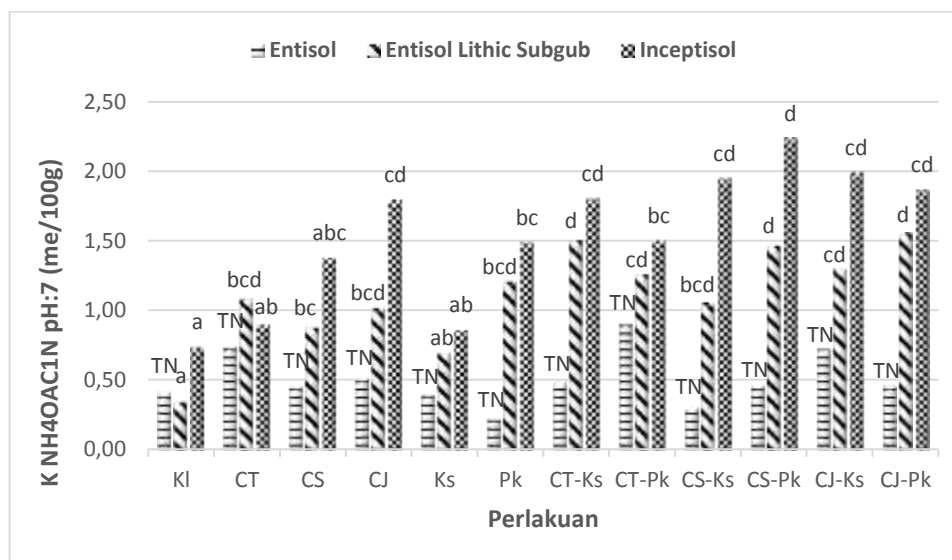
**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Unsur kalium yang termasuk dalam unsur yang immobile atau lama terurai dalam tanah maupun tanaman baik dalam sel, dalam jaringan tanaman, maupun bagian xylem dan floem. Kalium banyak terdapat dalam sitoplasma dan garam kalium berperan dalam tekanan osmosis sel, selain itu Kalium juga berperan dalam beberapa proses seperti aktivator enzim, metabolisme karbohidrat, mengatur tekanan osmotik, serapan N, mengatur efisiensi air, sintesis protein, dan translokasi dari asimilat (Rosmarkam dan Yuwono, 2002)

Ketersediaan kalium di dalam tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH dan KTK tanah. Tanah yang ber-pH rendah membuat ketersediaan kalium sangat mudah hilang karena pencucian hara (Widowati *et al.*, 2012). Oleh karena itu, penambahan biochar yang dapat berfungsi sebagai bahan pembenah tanah yang kekurangan unsur hara dengan menahan sejumlah nutrisi yang berguna bagi tanaman serta meningkatkan sifat fisika dan biologi tanah

Biochar berbentuk karbon stabil yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan-bahan organik. Saat ini biochar sangat diminati karena sangat berpotensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, mampu menyerap serta menyimpan karbon (C) dalam tanah dan meningkatkan hasil panen. Biochar terbukti stabil dan efektif sebagai bagian dari cadangan karbon. Dalam biochar, karbon terbentuk dari proses pirolisis sehingga tidak mudah terdegradasi oleh beberapa aktifitas mikroba seperti biomassa yang mengandung karbon tingkat rendah (Prasetyo, 2014)

Elviwirda (2007) menyatakan di Indonesia potensi penggunaan biochar cukup besar, mengingat bahan baku seperti kayu, tempurung kelapa dan sekam padi cukup tersedia. Pembuatan arang cukup dikenal masyarakat Indonesia namun belum dimanfaatkan sebagai pembenah tanah. Selama ini umumnya pembuatan biochar dari limbah pertanian ditujukan untuk ekspor. Penggunaan bahan pembenah tanah berbahan baku sisa-sisa hasil pertanian yang sulit terdekomposisi merupakan salah satu alternatif yang dapat ditempuh untuk mempercepat peningkatan kualitas sifat fisik tanah dalam pemanfaatan lahan sebagai sumber pangan sehingga produksi tanaman mampu ditingkatkan (Elviwirda, 2007).



Gambar 7. Kandungan K pada tanah entisol, entisol lithic subgub dan inceptisol

Na NH4OAC1N pH:7

Pemberian biochar dari beberaa bahan baku secara tunggal maupun dikombinasikan dengan pupuk organik mampu meningkatkan nilai Na dalam tanah khususnya pada tanah entisol dan entisol lithic subgub. Sedangkan pada tanah inceptisol tidak menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap parameter Na. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 31, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 32.

Tabel 31. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Na NH4OAC1N pH:7.

Tabel 31. Hasil analisis nested design Na NH4OAC1N pH:7

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.329

Jenis Tanah

Tabel 31. menunjukkan nilai sig ($0.000 < \alpha (=0.05)$), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Na NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 31. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Na NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 31. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Na NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 31. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Na NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 31. menunjukkan nilai sig adalah $0.329 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Na NH₄OAC1N pH:7. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah

Tabel

Pada tanah entisol perlakuan terbaik dalam parameter Na NH₄OAC1N adalah perlakuan biochar tongkol jagung pukan - CTPk (2.36 me/100g), biochar sekam padi pukan- CSPk (2.36 me/100g), biochar jengkok tembakau kompos- Biochar tongkol jagung kompos - CJKs (2.34 me/100g), Biochar jengkok tembakau pukan - CJPk (2.32 me/100g) keempat perlakuan tersebut berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung kompos- CTKs (2.20 me/100g). perlakuan biochar tongkol jagung kompos- CTKs (2.20 me/100g) berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung- CT (2.04 me/100g), biochar sekam padi- CS (2.03 me/100g), biochar jengkok tembakau-CJ (2.02 me/100g) dan pukan - Pk (2.07 me/100g). Pada tanah entisol lithic subgub parameter Na NH₄OAC1N terbaik yaitu pada perlakuan biochar jengkok tembakau-CJ (4.66 me/100g), perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung- CT (2.71 me/100g), biochar sekam padi- CS (2.64 me/100g) dan kompos- Ks (2.74 me/100g). Sedangkan, pada tanah inceptisol perlakuan biochar baik diaplikasikan secara tunggal maupun secara kombinasi dengan pupuk organik memiliki hasil yang tidak berbeda nyata dengan kontrol.

Unsur hara Na bukan merupakan unsur hara penting bagi tanaman walaupun tidak tersedia dalam tanah unsur hara Na tidak akan menunjukkan gangguan metabolisme pada tanaman. Natrium merupakan unsur hara yang diserap dalam bentuk Na⁺ walaupun tanaman tidak mengandung Na tidak akan menunjukkan gangguan metabolisme. Menurut Rosmarkam dan Yuwono (2000), Na mampu meningkatkan kualitas daya bakar daun tembakau pada kadar tertentu.

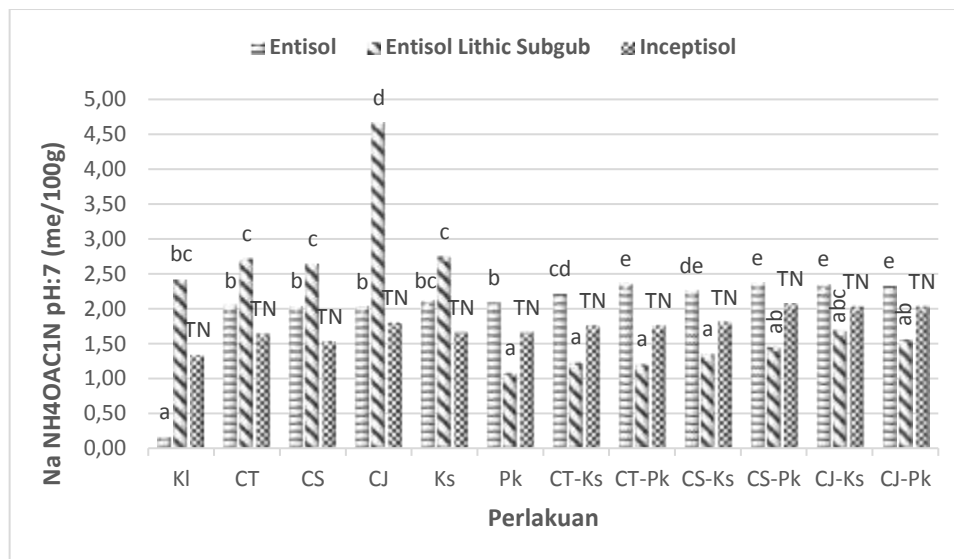
Tabel 32. Hasil uji DMRT Na NH₄OAC1N pH:7 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Na NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	0.16 a	2.41 bc	1.33 ^{TN}
CT	2.04 b	2.71 c	1.63 ^{TN}
CS	2.03 b	2.64 c	1.52 ^{TN}
CJ	2.02 b	4.66 d	1.79 ^{TN}
Ks	2.11 bc	2.74 c	1.65 ^{TN}
Pk	2.07 b	1.08 a	1.65 ^{TN}
CT-Ks	2.20 cd	1.22 a	1.75 ^{TN}
CT-Pk	2.36 e	1.20 a	1.75 ^{TN}
CS-Ks	2.25 de	1.34 a	1.80 ^{TN}
CS-Pk	2.36 e	1.45 ab	2.06 ^{TN}
CJ-Ks	2.34 e	1.69 abc	2.02 ^{TN}
CJ-Pk	2.32 e	1.56 ab	2.02 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 8. Kandungan Na pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

Ca NH₄OAC1N pH:7

Pada parameter kimia tanah khususnya Ca menghasilkan nilai yang tidak berbeda nyata pada tanah entisol dan inceptisol. Sedangkan, pada tanah entisol lithic subgub para parameter Ca menghasilkan hasil yang berbeda nyata disetiap perlakuan. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 33, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 34.

Tabel 33. Hasil analisis nested design Ca NH₄OAC1N pH:7

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.144
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	1.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.001
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.883

Tabel 33. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Ca NH₄OAC1N pH:7.

Jenis Tanah

Tabel 33. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Ca NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 33. menunjukkan nilai sig adalah 0.144 > α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Ca NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 33. menunjukkan nilai sig adalah 1.000 > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Ca NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 33. menunjukkan nilai sig adalah 0.001 < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Ca NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 33. menunjukkan nilai sig adalah 0.883 > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap Ca NH₄OAC1N pH:7.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 34.

Pada tanah entisol lithic subgub perlakuan untuk parameter Ca-dd tanah terdapat hasil yang berbeda nyata antara perlakuan dengan kontrol. Perlakuan Pukan- Pk (38,39 me/100g) merupakan perlakuan yang memiliki kandungan Ca tertinggi sehingga perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kompos- Ks (36.33 me/100g) dan perlakuan biochar jengkok tembakau-pukan (35.95 me/100g) sedangkan perlakuan kompos-Ks dan biochar jengkok tembakau pukan-CJPk berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung- CT (33.58 me/100g), biochar jengkok tembakau- CJ (33.41 me/100g) dan biochar sekam padi pukan- CSPk (33.45 me/100g). Pada tanah entisol dan inceptisol parameter Ca NH₄OAC1N pH:7 menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata di setiap

perlakuan dengan kontrol (Tabel 4). Sehingga apabila kadar Ca terlalu banyak maka pH tanah akan semakin basa. Penurunan pH ada kaitannya dengan penambahan biochar pada tanah basa disebabkan oleh penurunan konsentrasi oksida-oksida logam alkali (misalnya Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+) karena yang bersifat basa dalam biochar adalah abu sedangkan biochar dalam penelitian ini tidak menggunakan abu nya (Steiner *et al.*, 2007).

Sebagian besar kation-kation Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ yang ada dalam tanah ber biochar tidak terikat oleh gaya elektrostatik, tetapi hadir sebagai garam terlarut oleh karena itu mudah tersedia dan diserap oleh tanaman (Glaser *et al.*, 2002). Percobaan Kpombrekou dan Tabataba (1994) menunjukkan bahwa besarnya P yang terlarut memiliki korelasi dengan Ca dan Mg yang dilepaskan, hal ini membuktikan bahwa P tersebut semula diikat oleh Ca dan Mg. Ion bervalensi tinggi dapat dengan mudah mengganti ion bervalensi lebih rendah. Jadi Ca^{2+} dapat dengan mudah mengganti K^+ , tetapi tidak sebaliknya. Proses pertukaran kation dipengaruhi oleh valensi kation, ukuran kation, sifat mineral terhadap kation dan konsentrasi kation pada larutan. Apabila Ca^{2+} diganti dengan K^+ diperlukan persyaratan lain, yaitu konsentrasi K^+ pada larutan harus lebih tinggi dari konsentrasi Ca^{2+} . Jika kedua kation yang akan melakukan proses pertukaran kation mempunyai valensi sama, kation yang mempunyai ukuran lebih besar mempunyai kemampuan menukar kation lebih besar dibandingkan kation berukuran lebih kecil (Tan, 2001).

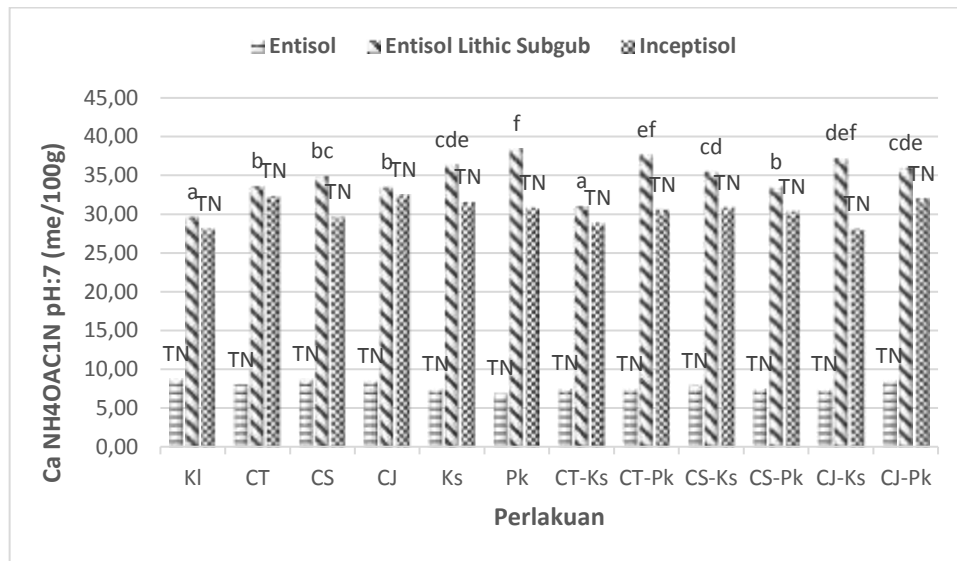
Tabel 34. Hasil uji DMRT Ca NH_4OAC 1N pH:7 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Ca NH_4OAC 1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
KI	8.74 ^{TN}	29.56 a	28.00 ^{TN}
CT	7.96 ^{TN}	33.58 b	32.27 ^{TN}
CS	8.67 ^{TN}	34.85 bc	29.55 ^{TN}
CJ	8.39 ^{TN}	33.41 b	32.43 ^{TN}
Ks	7.40 ^{TN}	36.33 cde	31.47 ^{TN}
Pk	6.83 ^{TN}	38.39 f	30.74 ^{TN}
CT-Ks	7.49 ^{TN}	31.01 a	28.84 ^{TN}
CT-Pk	7.39 ^{TN}	37.61 ef	30.47 ^{TN}
CS-Ks	7.83 ^{TN}	35.43 cd	30.77 ^{TN}
CS-Pk	7.42 ^{TN}	33.45 b	30.27 ^{TN}
CJ-Ks	7.33 ^{TN}	37.19 def	28.00 ^{TN}
CJ-Pk	8.35 ^{TN}	35.95 cde	31.96 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 9. Ca NH4OAC1N pH:7 pada entisol, entisol lithic subgub dan inceptisol

Mg NH4OAC1N pH:7

Pemberian biochar secara tunggal dan dikombinasikan dengan pupuk organik menunjukkan hasil bahwa berbeda nyata di ketiga jenis tanah baik pada entisol, entisol lithic subgub dan inceptisol pada variabel Mg. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 35, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 36.

Tabel 35. Hasil analisis nested design Mg NH4OAC1N pH:7

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.000

Tabel 35. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < $\alpha(=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel Mg NH4OAC1N pH:7.

Jenis Tanah

Tabel 35. menunjukkan nilai sig (0.000) < $\alpha(=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap Mg NH4OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 35. menunjukkan nilai sig adalah 0.000 < $\alpha(=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap Mg NH4OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 35. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Mg NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 35. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Mg NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 35. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap Mg NH₄OAC1N pH:7.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 36.

Tabel 36. Hasil uji DMRT Mg NH₄OAC1N pH:7 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Mg NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	1.11 e	2.57 g	1.36 abc
CT	0.67 bc	0.29 a	0.94 a
CS	0.97 de	0.17 a	2.08 cde
CJ	0.82 cd	0.47 b	1.12 ab
Ks	0.54 b	1.97 f	2.05 cde
Pk	0.18 a	1.30 d	2.72 e
CT-Ks	0.29 a	1.55 e	5.08 f
CT-Pk	0.89 d	0.72 c	1.78 bcd
CS-Ks	1.35 f	1.49 e	2.12 cde
CS-Pk	1.36 f	1.58 e	2.21 de
CJ-Ks	0.25 a	0.84 c	2.25 de
CJ-Pk	1.35 f	0.24 a	1.61 abcd

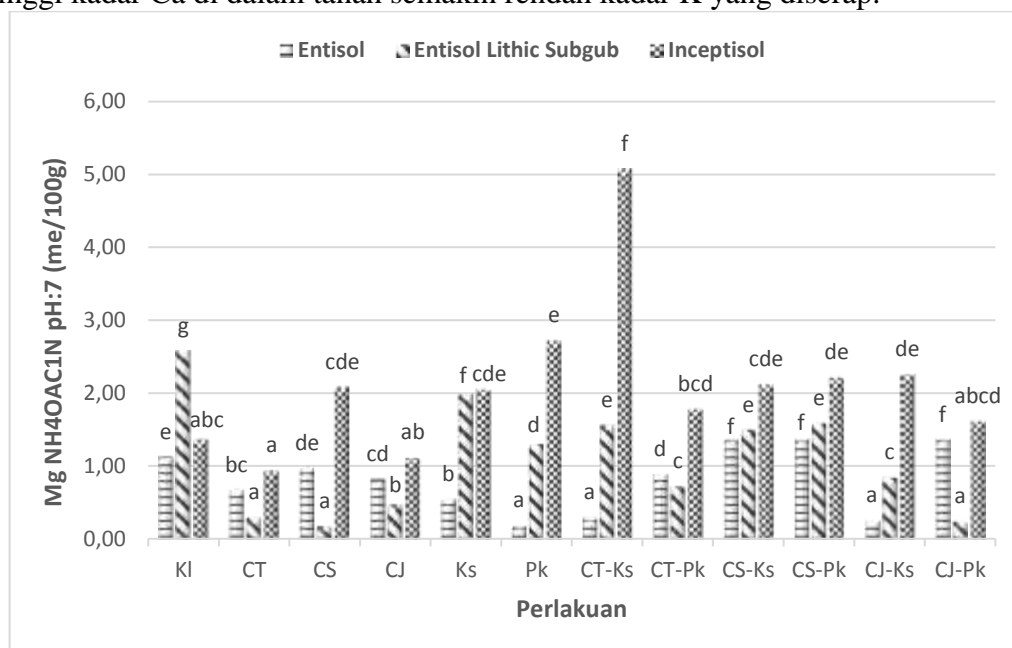
* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada tanah entisol perlakuan biochar sekam padi kompos- CSKs (1.35 me/100g), biochar sekam padi pukan- CSPk (1.36 me/100g) dan biochar jengkok tembakau pukan-CJPk (1.35 me/100g) merupakan perlakuan terbaik pada parameter Mg NH₄OAC1N, ketiga perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Kontrol (1.11 me/100g) dan biochar sekam padi- CS (0,97 me/100g). Pada tanah entisol lithic subgub perlakuan kontrol memiliki hasil tertinggi pada parameter Mg NH₄OAC1N yaitu sebesar 2,57 me/100g, perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Kompos- Ks sebesar 1,97 me/100g dan perlakuan Kompos-Ks berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung kompos - CTKs (1.55 me/100g), biochar sekam padi kompos- CSKs (1.49 me/100g) dan biochar sekam padi pukan - CSPk (1.58 me/100g). Sedangkan, pada tanah inceptisol perlakuan biochar tongkol jagung kompos- CTKs (5,08 me/100g) merupakan perlakuan terbaik dalam parameter Mg NH₄OAC1N perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Pukan- Pk (2.72 me/100g). Ketiga jenis tanah ini memiliki hasil Mg NH₄OAC1N

yang berbeda-beda tetapi diantara ketiga tanah ini kandungan Mg NH₄OAC1N tertinggi didapatkan pada tanah inceptisol pada perlakuan biochar tongkol jagung kompos- CTKs yaitu sebesar 5,08 me/100g.

Rosmarkam dan Yuwono (2002) yang menerangkan bahwa Mg berperan dalam proses fotosintesis tanaman karena sebagai pembentuk klorofil. Magnesium juga memiliki peranan terhadap metabolisme unsur hara sehingga Mg sangat mempengaruhi kualitas daun jagung. Ion kalium relatif rendah berkisar 0,1– 0,2 me/100 g tanah dan kompleks adsorpsi didominasi oleh Ca dan Mg. Hasil ini sejalan dengan Lehmann *et al.* (2003) bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan pencucian K, tetapi tidak untuk unsur Ca dan Mg. Pemberian biochar menyebabkan kenaikan kadar Ca di dalam tanah dibanding tanpa biochar. Makin tinggi kadar Ca di dalam tanah semakin rendah kadar K yang diserap.



Gambar 10. Mg NH₄OAC1N pada tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

KTK NH₄OAC1N pH:7

Perlakuan kontrol dengan pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik menunjukkan hasil yang berbeda nyata pada parameter KTK di tanah entisol lithic subgub dan inceptisol. Sedangkan, pada tanah entisol perlakuan kontrol dengan perlakuan aplikasi biochar tidak berbeda nyata pada parameter KTK. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 37, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 38.

Tabel 37. Hasil analisis nested design KTK NH₄OAC1N pH:7

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.952
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.011

Tabel 37. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig < α (=0.05) maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel KTK NH₄OAC1N pH:7.

Jenis Tanah

Tabel 37. menunjukkan nilai sig (0.000) < α (=0.05), sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap KTK NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 37. menunjukkan nilai sig adalah 0.000 < α (=0.05), sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap KTK NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 37. menunjukkan nilai sig adalah 0.952 > α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap KTK NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 37. menunjukkan nilai sig adalah 0.000 < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KTK NH₄OAC1N pH:7.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 37. menunjukkan nilai sig adalah 0.011 < α (=0.05), sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KTK NH₄OAC1N pH:7.

Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 38.

Tabel 38. Hasil uji DMRT KTK NH₄OAC1N pH:7 pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	KTK NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
Kl	15.08 ^{TN}	34.95 a	35.23 a
CT	15.74 ^{TN}	39.77 bcd	37.50 ab
CS	14.67 ^{TN}	38.72 b	38.23 b
CJ	15.13 ^{TN}	39.51 bc	39.13 b
Ks	16.13 ^{TN}	42.25 e	38.50 b
Pk	16.14 ^{TN}	41.88 cde	39.50 b
CT-Ks	15.64 ^{TN}	36.04 a	38.65 b
CT-Pk	15.19 ^{TN}	42.08 de	38.30 b
CS-Ks	15.64 ^{TN}	40.25 bcde	38.33 b
CS-Pk	15.78 ^{TN}	39.45 bc	38.77 b
CJ-Ks	15.20 ^{TN}	41.22 cde	38.91 b
CJ-Pk	15.63 ^{TN}	40.06 bcde	39.08 b

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah.

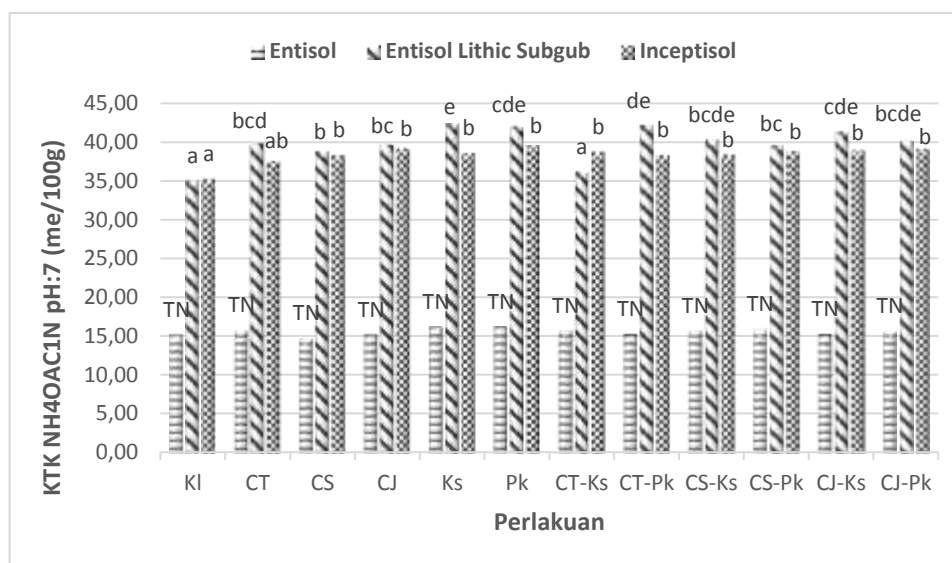
**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada Tabel 18 Tanah entisol lithic subgub perlakuan Kompos-Ks (42.25 me/100g) memiliki hasil nilai KTK yang tertinggi perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan biochar tongkol jagung- CT (39.77 me/100g) sedangkan perlakuan biochar tongkol jagung-CT (39.77 me/100g) berbeda nyata dengan kontrol (34.95 me/100g). Pada tanah inceptisol perlakuan terbaik untuk parameter KTK adalah Biochar sekam padi- CS (38.23 me/100g), Biochar jengkok tembakau-CJ (39.13 me/100g), Kompos- Ks (38.50 me/100g), Pukan- Pk (39.50 me/100g), Biochar tongkol jagung kompos- CTKs (38.65 me/100g), Biochar tongkol jagung pukan- CTPk (38.30 me/100g), Biochar sekam padi kompos- CSKs (38.33 me/100g), Biochar sekam padi pukan- CSPk (38.77 me/100g), Biochar jengkok tembakau-kompos- CJKs (38.91 me/100g) dan Biochar jengkok tembakau pukan- CJ-Pk (39.08 me/100g) perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (35.23 me/100g). Sedangkan, pada tanah entisol parameter KTK menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol.

Pada fase awal keberadaan biochar dalam tanah, oksidasi abiotik juga dijumpai lebih penting dari pada oksidasi biotik dalam pembentukan muatan permukaan negatif dan KTK (Cheng *et al.*, 2006). Meningkatnya KTK tanah setelah aplikasi biochar disebabkan oleh adanya pembentukan gugus karboksilat hasil oksidasi abiotik yang terjadi pada permukaan luar partikel biochar (Cheng *et al.*, 2006). Hal inilah yang selalu dijadikan alasan penguat meningkatnya KTK setelah aplikasi biochar dalam tanah. Menurut Sohi *et al.* (2009), KTK tanah merupakan suatu ukuran seberapa baik hara diikat oleh tanah sehingga dapat menahan hara akibat proses leaching ke bagian bawah tanah maupun kehilangan

permukaan tanah. Jika sifat tanah yang berkaitan dengan retensi hara dapat diperbaiki berarti ada jaminan bahwa hara yang diberikan akan dapat tersedia baik bagi tanaman

Selain bahan baku yang mudah didapat, biochar juga mempunyai pengaruh jangka panjang terhadap kondisi tanah, sebagaimana Menurut Mawardiana, *et al.*, (2013) menyatakan bahwa biochar sebagai bahan pembenah tanah memiliki sifat rekalsitran, lebih tahan terhadap oksidasi dan lebih stabil dalam tanah sehingga memiliki pengaruh jangka panjang terhadap perbaikan kualitas kesuburan tanah (C-organik tanah dan KTK). Biochar mempunyai waktu tinggal dalam tanah cukup lama, sehingga penggunaan biochar sebagai pembenah tanah selain memperbaiki sifat fisika-kimia tanah juga dapat merupakan penyimpan karbon yang baik. Pengkayaan tanah akan karbon melalui penambahan biochar berpengaruh positif terhadap sifat tanah antara lain stabilitas agregat tanah, KTK tanah, kandungan C-Organik tanah, retensi air dan hara. Menurut Darman (2008), karbon yang berada dalam bentuk arang di dalam tanah memiliki waktu paruh sekitar 1000 tahun, dan sekitar 50% akan mulai terurai lebih dari 1000 tahun.



Gambar 11. KTK NH₄OAC1N pH:7 tanah entisol, entisol lithic subgub, inceptisol

KB

Nilai kejenuhan basa (KB) adalah persentase dari total kapasitas tukar kation (KTK) yang ditempati oleh kation-kation basa seperti kalium, kalsium, magnesium, dan natrium. Hasil analisis kejenuhan basa menyebutkan bahwa pada setiap perlakuan memiliki hasil yang berbeda nyata dengan kontrol. Sedangkan pada tanah entisol lithic subgub dan inceptisol menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada setiap perlakuan dengan kontrol. Hasil analisis dengan nested

design disajikan pada Tabel 39, sedangkan uji lanjut DMRT disajikan pada Tabel 40.

Tabel 39. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (Jenis Tanah), faktor kedua (Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah), serta Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Jika nilai sig $< \alpha (=0.05)$ maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel KB.

Jenis Tanah

Tabel 39. menunjukkan nilai sig $(0.000) < \alpha (=0.05)$, sehingga jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap KB.

Tabel 39. Hasil analisis nested design KB

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.000
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgab	0.795
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.053

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah

Tabel 39. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap KB.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol

Tabel 39. menunjukkan nilai sig adalah $0.000 < \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara signifikan terhadap KB.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgub

Tabel 39. menunjukkan nilai sig adalah $0.795 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah entisol lithic subgub, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap KB.

Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah inceptisol

Tabel 39. menunjukkan nilai sig adalah $0.053 > \alpha (=0.05)$, sehingga pada jenis tanah inceptisol, biochar dan pupuk organik berpengaruh secara tidak signifikan terhadap KB. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan dalam Tabel 40.

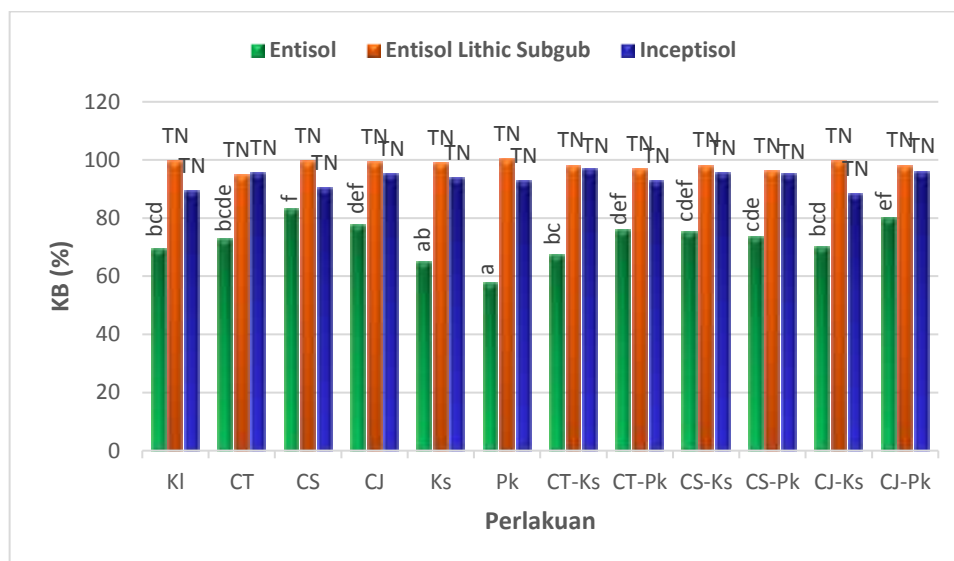
Pada tanah entisol perlakuan Biochar sekam padi-CS (83%) merupakan perlakuan yang paling tinggi dalam parameter kejenuhan basa, perlakuan ini berbeda nyata dengan perlakuan Biochar tongkol jagung-CT (73%) sedangkan perlakuan Biochar tongkol jagung- CT berbeda nyata dengan perlakuan Pukan-Pk (58%). Sedangkan, pada tanah entisol lithic subgub dan inceptisol memiliki hasil yang tidak berbeda nyata dengan kontrol untuk parameter kejenuhan basa.

Tabel 40. Hasil uji DMRT KB pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	KB (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol
KI	69 bcd	100 ^{TN}	89 ^{TN}
CT	73 bcde	95 ^{TN}	95 ^{TN}
CS	83 f	99 ^{TN}	90 ^{TN}
CJ	78 def	99 ^{TN}	95 ^{TN}
Ks	65 ab	99 ^{TN}	94 ^{TN}
Pk	58 a	100 ^{TN}	93 ^{TN}
CT-Ks	67 bc	98 ^{TN}	97 ^{TN}
CT-Pk	76 def	97 ^{TN}	93 ^{TN}
CS-Ks	75 cdef	98 ^{TN}	96 ^{TN}
CS-Pk	74 cde	96 ^{TN}	95 ^{TN}
CJ-Ks	70 bcd	100 ^{TN}	88 ^{TN}
CJ-Pk	80 ef	98 ^{TN}	96 ^{TN}

^{TN} : tidak signifikan

* Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis Biochar dan pupuk organik pada masing-masing tanah. **Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 12. Kejenuhan Basa (%) tanah entisol, entisol lithic subgub, Inceptisol

Kejenuhan basa tanah dapat didefinisikan sebagai persen kompleks atau daerah pertukaran kation pada permukaan koloid liat atau bahan organik yang ditempati oleh kation-kation basa. Peningkatan persen KB tanah merupakan efek dari meningkatnya konsentrasi kation-kation basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan K^{+}) dan merupakan indikator meningkatnya kesuburan kimia tanah oleh aplikasi arang. Peningkatan pH berdampak terhadap meningkatnya kejenuhan basa. Kejenuhan basa meningkat 10 kali lipat lebih tinggi setelah amandemen arang pada tanah bertekstur pasir (*sandy soil*) dan tanah berlempung (*loamy soil*) daripada tanah berliat (*clayey soil*) (Tryon, 1948 dalam Glaser *et al.*, 2002).

Nilai kejenuhan basa (KB) adalah persentase dari total kapasitas tukar kation (KTK) yang ditempati oleh kation-kation basa seperti kalium, kalsium, magnesium, dan natrium. Nilai KB berhubungan erat dengan pH dan tingkat kesuburan tanah. Kemasaman akan menurun dan kesuburan akan meningkat dengan meningkatnya KB. Laju pelepasan kation terjerab bagi tanaman tergantung pada tingkat kejenuhan basa tanah. Kejenuhan basa tanah berkisar 50%-80% tergolong mempunyai kesuburan sedang dan dikatakan tidak subur jika kurang dari 50% (Tan, 2001). Tingkat kejenuhan basa suatu tanah mempengaruhi kation tanah. Hal ini terjadi karena ada interaksi antara partikel kapur dengan partikel bahanorganik hasil dari dekomposisi oleh mikroorganisme. Partikel organik yang semula dipengaruhi oleh H^+ digantikan oleh Ca^{+} (Anonymous, 2019).

5.1.3. SIFAT KIMIA TANAH SETELAH PANEN

Bahan Organik Tanah

Berdasarkan hasil dari Tabel 41, menunjukan bahwa terdapat pengaruh perubahan kandungan bahan organik tanah setelah diberikan biochar-pupuk organik di tiga jenis tanah. Pemberian biochar-pupuk organik berpengaruh signifikan terhadap kandungan bahan organik pada Entisol dan Inceptisol. Pada Entisol lithic subgrup pemberian biochar-pupuk organik tidak memiliki pengaruh terhadap kandungan bahan organik tanah setelah dua tahun aplikasi.

Tabel 41. Nilai signifikan Bahan Organik Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol Lithic Subgrup	0.083
Biochar-Pupuk Organik di Inceptisol	0

Pada Entisol, kandungan bahan organik berkisar antara 1,62 - 3,12% yang memiliki status rendah – sedang. Pada Entisol lithic subgrup kandungan bahan organik berkisar antara 1,53 - 2,17% yang memiliki status rendah – sedang. Sedangkan pada Inceptisol kandungan bahan organik berkisar antara 1,02 - 5,00% memiliki status rendah – tinggi.

Pengaruh biochar telah terbukti meningkatkan sifat fisik dan biokimia tanah yang dibudidayakan (Asai *et al.*, 2009; Mayor *et al.*, 2010b). Pada tanah Entisol, perlakuan kontrol memiliki kandungan bahan organik yang paling rendah yaitu 1,62% dan tidak berbeda dengan perlakuan dengan pemberian kompos (Tabel 2). Perlakuan biochar tongkol jagung memiliki kandungan bahan organik sebesar 2,46% dan lebih tinggi ketika ditambahkan dengan kompos yaitu menjadi 2,68%. Sedangkan penambahan pupuk kandang justru menurunkan kandungan bahan organik dari 2,46% menjadi sebesar 2,30%. Pada pemberian biochar sekam

padi, kandungan bahan organik tanah sebesar 2,40% jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian biochar sekam padi yang digabungkan dengan kompos yaitu sebesar 2,13%. Sedangkan dengan pemberian pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan aplikasi biochar sekam padi saja yaitu sebesar 3,12%. Sedangkan pada pemberian biochar jengkok-tembakau, kandungan bahan organik tanah yang dihasilkan adalah 2,83% jauh lebih tinggi bila ditambahkan pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang. Pada tanah Entisol lithic subgrup, tidak terdapat pengaruh kandungan bahan organik terhadap pemberian biochar tunggal maupun biochar+pupuk organik.

Pada tanah Inceptisol, perlakuan kontrol memiliki kandungan bahan organik yang paling rendah yaitu sebesar 1,02%. Dari ketiga jenis tanah yang diteliti, Inceptisol memiliki kandungan bahan organik tanah yang paling rendah dibandingkan dengan Entisol dan Entisol lithic subgrup (Tabel 2). Pada Inceptisol, pemberian biochar jengkok-tembakau, biochar tongkol jagung dan biochar sekam padi secara tunggal tanpa pemberian pupuk organik yang lain memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan biochar+pupuk organik lainnya. Menurut Woolf *et al.* (2010) bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan kadar karbon, nitrogen, fosfor, kalium, dan magnesium.

Sifat biochar relatif inert, tersisa di tanah dan pengaruhnya lebih lama daripada amandemen organik lainnya sehingga kesehatan tanah dan hasil panen ditingkatkan setelah menerapkan biochar ke tanah (David *et al.*, 2013). Setelah dua tahun aplikasi biochar pada penelitian ini, biochar jengkok-tembakau memiliki kandungan bahan organik yang paling tinggi yaitu sebesar 5,00%, diikuti dengan biochar tongkol jagung dan biochar sekam padi masing-masing sebesar 4,18% dan 3,75%. Sedangkan pemberian biochar jengkok-tembakau dan pupuk organik baik kompos dan pupuk kandang menghasilkan bahan organik yang lebih rendah dibandingkan dengan pemberian biochar jengkok-tembakau secara tunggal yaitu sebesar 1,96% dan 2,35%. Pemberian biochar tongkol jagung dengan penambahan pupuk organik berupa pupuk kandang memiliki kandungan bahan organik yang tidak berbeda dengan pemberian biochar tongkol jagung secara tunggal yaitu 3,80%. Sedangkan pemberian biochar tongkol jagung dengan kompos memiliki nilai yang lebih rendah yaitu sebesar 2,89%. Pemberian biochar sekam padi secara tunggal juga menghasilkan bahan organik tanah yang lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi biochar sekam padi dan pupuk organik (kompos dan pupuk kandang). The positive effects of biochar on soil properties are realized through increased soil fertility (Verheijen *et al.*, 2010). According to Akca and Namli (2015), SOM was significantly improved after the amendment of biochar compared with controls and chemical fertilizers. β -glucosidase, alkaline phosphatase, urease and arylsulphatase enzyme activity in the soil increases significantly with biochar application, which accelerates the decomposition of organic matter. Soil enzyme activity has been associated with physical-chemical characteristics of the soil (Amador *et al.*, 1997 dan Kussainova *et al.*, 2013).

Tabel 42. Nilai Kandungan Bahan Organik Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah

Perlakuan	Bahan Organik (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	1.62 a	1.53 ^{ns}	1.02 a
Biochar tongkol jagung (CT)	2.46 cdef	1.89 ^{ns}	4.18e
Biochar sekam padi (CS)	2.40 cde	2.11 ^{ns}	3.75e
Biochar jengkok-tembakau (CJ)	2.83 fg	1.69 ^{ns}	5.00f
Kompos (Ks)	1.98 ab	2.04 ^{ns}	2.15 bc
Pupuk kandang (Pk)	2.36 bcde	2.07 ^{ns}	2.84 d
Biochar tongkol+kompos (CKs)	2.68 def	1.96 ^{ns}	2.89d
Biochar tongkol+pukan (CT+Pk)	2.30 bcd	2.17 ^{ns}	3.80e
Biochar sekam+kompos (CS+Ks)	2.13 bc	2.00 ^{ns}	2.09 bc
Biochar sekam+pukan (CS+Pk)	3.12 g	2.01 ^{ns}	2.58 cd
Biochar jengkok+kompos (CJ+Ks)	2.43 cdef	1.98 ^{ns}	1.96 b
Biochar jengkok+pukan (CJ+Pk)	2.74 ef	2.30 ^{ns}	2.35 bcd

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Kandungan N total

Berdasarkan Tabel 43, pemberian biochar-pupuk organik merubah status kadar N total tanah pada jenis tanah karena nilai Sig<0,05. Begitu pula perlakuan biochar-pupuk organik merubah status kadar N total tanah dalam Entisol dan Inceptisol menunjukkan pengaruh yang signifikan. Namun lain halnya dengan perlakuan biochar+pupuk organik dalam Entisol lithic subgrup yang tidak memiliki pengaruh terhadap kadar N total.

Tabel 43. Nilai signifikan N Total Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol Lithic Subgrup	0.728
Biochar-Pupuk Organik di Inceptisol	0

Pada Entisol kadar N total berkisar antara 0,11-0,21% yang berstatus rendah – sedang. Pada Entisol lithic subgrup kadar N berkisar antara 0,12-0,16% yang berstatus rendah. Sedangkan pada Inceptisol kadar N total berkisar antara 0,07 – 0,29 yang berstatus rendah – sedang.

Pada Entisol, perlakuan kontrol memiliki kadar N total terendah yaitu sebesar 0,11% dan berbeda dengan perlakuan lainnya yang memiliki kadar N total

lebih tinggi. Aplikasi biochar saja baik biochar tongkol jagung, biochar sekam padi serta biochar jengkok-tembakau menghasilkan kadar N total lebih tinggi dibandingkan kontrol yaitu masing-masing sebesar 0,16%, 0,15% serta 0,16% (Tabel 4). Hal ini sejalan dengan Pan et al. (2009), meningkatnya efisiensi N dan produktivitas tanaman karena kadar karbon organik tanah tinggi setelah amendemen biochar. Namun pada penelitian ini, dengan adanya tambahan pupuk organik (kompos dan pupuk kandang) di ketiga jenis biochar dapat meningkatkan kadar N total dengan peningkatan masing-masing yaitu 0,3%; 0,6% serta 0,2%. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian biochar yang ditambah dengan pupuk organik memberikan dampak yang baik dalam peningkatan kadar N total pada tanah Entisol dibandingkan dengan aplikasi biochar saja. Karena setelah dekomposisi dan mineralisasi pupuk organik akan menyumbang unsur hara terutama N.

Pada Entisol lithic subgroup, perlakuan tidak memiliki pengaruh terhadap peningkatan N total pada tanah. Pada Inceptisol perlakuan kontrol juga memiliki kadar N total paling rendah yaitu sebesar 0,07%. Pemberian biochar saja baik biochar tongkol jagung, sekam padi, serta jengkok atau aplikasi pupuk organik saja dapat meningkatkan N total 4 kali lipatnya dibandingkan dengan kontrol. Namun ketika biochar ditambahkan dengan tambahan pupuk organik maka nilai kadar N total yang dihasilkan tidak lebih besar dibandingkan dengan pemberian biochar saja. Pada pemberian biochar tongkol jagung maupun kompos menghasilkan N total tanah sebesar 0,28% sedangkan dengan penambahan kompos ataupun pupuk kandang dapat menghasilkan N total tanah masing-masing sebesar 0,22% dan 0,20% (hampir 3 kali lipat dibandingkan kontrol). Pada pemberian biochar sekam padi menghasilkan nilai kadar N total sebesar 0,27% sedangkan dengan adanya penambahan kompos dan pupuk kandang nilai kadar N total yang dihasilkan yaitu masing-masing sebesar 0,23% dan 0,18%. Begitu pula dengan pemberian biochar jengkok-tembakau yang dapat menghasilkan nilai kadar N total sebesar 0,29% jauh lebih tinggi apabila ditambahkan dengan kompos dan pupuk kandang yang dapat menghasilkan kadar N total masing-masing sebesar 0,21% dan 0,19% (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa pada Inceptisol, pemberian biochar saja jauh lebih baik dibandingkan dengan pemberian biochar yang ditambahkan dengan pupuk organik dalam meningkatkan kandungan N total tanah.

Menurut Nguyen *et al.*, (2017) aplikasi biochar dapat meningkatkan kelembaban dan pH tanah, sehingga merangsang proses mineralisasi N dan nitrifikasi yang menyebabkan serapan tanaman meningkat. Adanya peningkatan serapan ini menyebabkan pemanfaatan nitrogen dari penggunaan pupuk menjadi meningkat (Steiner et al., 2007; Widowati et al., 2011). Akibatnya terjadi peningkatan hasil panen dengan aplikasi biochar karena meningkatnya pemanfaatan nitrogen dari penggunaan pupuk (Steiner et al., 2007; Widowati et al., 2011).

Kandungan P Tersedia

Fosfor (P) merupakan unsur hara esensial bagi tanaman yang tidak bisa digantikan dengan unsur lainnya. Ketersediaan P dalam tanah dipengaruhi oleh

kemasaman tanah. Fungsi penting fosfor adalah berperan dalam proses fotosintesis, respirasi, transfer dan penyimpanan energi, pembelahan dan pembesaran sel serta proses lainnya. Pemberian biochar dan pupuk organik meningkatkan kandungan P tersedia yang ada di tiga jenis tanah penelitian karena semuanya bernilai signifikan ($\text{Sig} < 0,05$) (Tabel 5).

Tabel 44. Nilai N Total Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah

Perlakuan	N total (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	0.11 a	0.12 ^{ns}	0.07 a
Biochar tongkol jagung (CT)	0.16 bcde	0.12 ^{ns}	0.28 de
Biochar sekam padi (CS)	0.15 abc	0.14 ^{ns}	0.27 cde
Biochar jengkok-tembakau (CJ)	0.16 bcd	0.13 ^{ns}	0.29 e
Kompos (Ks)	0.12 ab	0.16 ^{ns}	0.28 de
Pupuk kandang (Pk)	0.16 bcd	0.16 ^{ns}	0.24 bcde
Biochar tongkol+kompos (CKs)	0.19 def	0.13 ^{ns}	0.22 bcde
Biochar tongkol+pukan (CT+Pk)	0.19 def	0.14 ^{ns}	0.20 bc
Biochar sekam+kompos (CS+Ks)	0.21 ef	0.13 ^{ns}	0.23 bcde
Biochar sekam+pukan (CS+Pk)	0.21 f	0.13 ^{ns}	0.18 b
Biochar jengkok+kompos (CJ+Ks)	0.18 cdef	0.15 ^{ns}	0.21 bcd
Biochar jengkok+pukan (CJ+Pk)	0.18 cdef	0.15 ^{ns}	0.19 b

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Tabel 45. Nilai signifikan P Olsen Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik di Inceptisol	0

Pada Entisol, kandungan P tersedia berkisar antara 30,95 – 71,77 mg kg⁻¹ yang memiliki status sedang – sangat tinggi. Pada Entisol lithic subgrup kandungan P tersedia berkisar antara 14,30 – 43,93 mg kg⁻¹ yang memiliki status rendah – tinggi. Sedangkan pada Inceptisol kandungan P tersedia berkisar antara 25,34 – 58,81 mg kg⁻¹ memiliki status sedang – tinggi.

Kadar P tersedia pada Entisol dan Inceptisol pada perlakuan kontrol memiliki kandungan yang tinggi yaitu masing-masing 40,16 mg kg⁻¹ dan 37,42 mg kg⁻¹, sedangkan pada tanah Entisol lithic subgrup memiliki P tersedia lebih rendah yaitu sebesar 14,30 mg kg⁻¹. Pada Entisol, pemberian biochar tongkol

jagung dan biochar sekam padi secara tunggal tidak mempengaruhi kandungan P tersedia dibandingkan dengan kontrol. Sedangkan pemberian biochar jengkok-tembakau memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap kandungan P tersedia yaitu sebesar $63,72 \text{ mg kg}^{-1}$. Pemberian pupuk organik baik kompos maupun pupuk kandang secara tunggal (tanpa biochar) juga meningkatkan kandungan P tersedia lebih baik dibandingkan dengan kontrol masing-masing sebesar $59,84 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $64,28 \text{ mg kg}^{-1}$. Sedangkan pemberian biochar+pupuk organik baik kompos maupun pupuk kandang memberikan respon yang bervariasi terhadap kandungan P Tersedia pada tanah Entisol. Pada biochar tongkol jagung+kompos dan biochar tongkol jagung+pupuk kandang nilai P tersedia yang dihasilkan cukup tinggi (Tabel 6). Hasil ini hampir sama dengan biochar jengkok-tembakau+kompos dan biochar jengkok-tembakau+pupuk kandang yang memiliki kandungan P tersedia yang tinggi yaitu masing-masing sebesar $55,56 \text{ mg kg}^{-1}$ dan $43,47 \text{ mg kg}^{-1}$. Kondisi ini berbeda pada biochar sekam padi+kompos dan biochar sekam padi+pupuk kandang yang memiliki kandungan P tersedia dalam tanah yang rendah dan sama dengan kontrol.

Menurut Akande *et al.*, (2010), pemberian bahan organik dapat menurunkan adsorpsi P karena dekomposisi bahan organik akan menghasilkan asam organik yang menyelimuti permukaan liat. Salawati *et al.*, (2016) menambahkan biochar sekam padi pada gugus fungsional dari asam organik, keadaan tersebut menyebabkan luas permukaan adsorpsi P berkurang dengan menurunnya adsorpsi P tanah yang meningkatkan ketersediaan P. Ketersediaan P berhubungan dengan pH tanah, apabila pH tanah <5 maka ion akan diendapkan dalam bentuk persenyawaan kompleks dengan Al dan Fe yang tidak larut. Sedangkan P pada pH tanah lebih $>7,5$ ion P akan terikat dengan Ca dalam bentuk persenyawaan kompleks. Sedangkan pada pH netral P akan tersedia bagi tanaman jika tanah mengandung cukup P.

Pada tanah Entisol lithic subgrup, perlakuan kontrol memiliki kandungan P tersedia yang paling rendah yaitu sebesar $14,30 \text{ mg kg}^{-1}$. Pemberian biochar tongkol jagung dan sekam padi secara tunggal tidak mempengaruhi peningkatan kandungan P tersedia namun pada pemberian biochar jengkok-tembakau memberikan peningkatan kandungan P tersedia dua kali lipat dibandingkan dengan semula. Pemberian pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang juga tidak berpengaruh meningkatkan kandungan P tersedia. Sedangkan pemberian kombinasi biochar dan pupuk organik baik kompos dan pupuk kandang memiliki respon yang berbeda terhadap kandungan P tersedia tanah. Pada biochar tongkol jagung pemberian kompos dan pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan P tersedia lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian biochar tongkol jagung secara tunggal. Namun pada biochar sekam padi dengan pemberian kompos menghasilkan kandungan P tersedia yang sama dengan pemberian biochar sekam padi secara tunggal. Namun pada pemberian biochar sekam padi+pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan P tersedia hampir dua kali lipat. Sedangkan pemberian biochar jengkok-tembakau dan kompos atau pupuk kandang meningkatkan kandungan P lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian biochar jengkok-tembakau secara tunggal.

Pada tanah Inceptisol, kandungan P tersedia paling banyak terdapat pada perlakuan biochar sekam padi diikuti dengan perlakuan biochar tongkol jagung. Sedangkan pemberian biochar jengkok-tembakau menghasilkan kandungan P tersedia lebih rendah setengah dari perlakuan biochar sekam padi. Pemberian kompos secara tunggal memberikan pengaruh menurunkan kandungan P tersedia sedangkan pemberian pupuk kandang meningkatkan kandungan P tersedia dari 37,42 mg kg⁻¹ (pada perlakuan kontrol) menjadi sebesar 47,63 mg kg⁻¹. Pada tanah Inceptisol pemberian biochar secara tunggal lebih baik diaplikasikan karena dapat meningkatkan kandungan P tersedia lebih tinggi hampir 2 kali lipat baik pada biochar tongkol jagung dan sekam padi. Pada pemberian biochar tongkol jagung dan biochar sekam padi yang dikombinasikan dengan kompos memiliki kandungan P tersedia paling rendah, sedangkan berbeda dengan pemberian biochar yang dikombinasikan dengan pupuk kandang. Namun kandungan P tersedia dari kombinasi dengan pupuk kandang masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan aplikasi biochar tongkol jagung dan sekam padi secara tunggal.

Tabel 46. Nilai Kandungan P Tersedia Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenah Tanah

Perlakuan	P.Olsen (mg kg ⁻¹)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	40.16 abc	14.30 a	37.42bcd
Biochar tongkol jagung (CT)	47.41 abcd	25.46 abc	49.10e
Biochar sekam padi (CS)	34.78 ab	19.28 ab	58.81f
Biochar jengkok-tembakau (CJ)	63.72 de	30.82 cd	28.39ab
Kompos (Ks)	59.84 cde	16.98 a	25.18a
Pupuk kandang (Pk)	64.28 de	19.70 ab	47.63e
Biochar tongkol+kompos (CKs)	54.39 bcde	29.86 bc	27.21a
Biochar tongkol+pukan (CT+Pk)	71.77 e	43.93 e	39.90cde
Biochar sekam+kompos (CS+Ks)	30.95 a	16.11 a	30.47abc
Biochar sekam+pukan (CS+Pk)	51.05 abcde	34.05 cde	43.85de
Biochar jengkok+kompos (CJ+Ks)	55.56 bcde	41.14 de	25.34a
Biochar jengkok+pukan (CJ+Pk)	43.47 abcd	16.03 a	33.26abc

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

K Tersedia

Berdasarkan Tabel 7, terdapat pengaruh pemberian biochar dan pupuk organik pada Entisol lithic subgrup dan Inceptisol dalam meningkatkan kandungan K tersedia dalam tanah secara signifikan. Pada Entisol, kandungan K tersedia berkisar antara 0,37 – 0,57 me 100g⁻¹ yang memiliki status sangat rendah. Pada Entisol lithic subgrup kandungan K tersedia berkisar antara 0,52 – 1,02 me 100g⁻¹ yang memiliki status sangat rendah – rendah. Sedangkan pada Inceptisol, kandungan K tersedia berkisar antara 0,26 – 1,01 me 100g⁻¹ memiliki status sangat rendah – rendah.

Tabel 47. Nilai signifikan K dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik di Entisol	0.214
Biochar-Pupuk Organik di Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik di Inceptisol	0

Pada Entisol, kandungan K tersedia setelah diberi biochar dan pupuk organik tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sedangkan pada Entisol lithic subgrup terjadi peningkatan yang signifikan setelah diberikan biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik. Kandungan K tersedia pada perlakuan kontrol di Entisol lithic subgrup sebesar 0,56 me/100g dan merupakan kandungan K tersedia yang paling rendah (Tabel 8). Kandungan K tersedia setelah pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik berkisar antara 0,52 – 1,02 me 100g⁻¹. Kriteria kadar K tersedia dikatakan sangat tinggi jika > 1 cmol kg⁻¹. Perlakuan tunggal biochar pada penelitian ini tidak meningkatkan kandungan K tersedia. Pemberian pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang meningkatkan kandungan K paling tinggi masing-masing menjadi 1,02 me 100g⁻¹ dan 0,85 me 100g⁻¹ (hampir 2 kali lipatnya). Sedangkan pemberian biochar tongkol jagung dan sekam padi yang dikombinasikan dengan pupuk organik seperti kompos dan pupuk kandang tidak meningkatkan kandungan K tersedia. Pemberian biochar jengkok-tembakau dengan kompos atau pupuk kandang menghasilkan kandungan K tersedia lebih tinggi dan dapat meningkatkan kandungan K tersedia sebesar 0,34-0,39 me 100g⁻¹ menjadi masing-masing sebesar 0,95 me 100g⁻¹ dan 0,90 me 100g⁻¹.

Pada tanah Inceptisol, kandungan K tersedia pada perlakuan kontrol sebesar 0,26 me 100g⁻¹. Setelah pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik terjadi peningkatan kandungan K tersedia menjadi 0,57 – 1,01 me/100g (Tabel 8). Pemberian biochar tunggal baik biochar tongkol jagung, biochar sekam padi serta biochar jengkok-tembakau dapat meningkatkan kandungan K tersedia menjadi 3 kali lipat dari semula. Hal yang sama dilaporkan bahwa N total, P dan K jauh lebih tinggi setelah tanah diperlakukan biochar dibandingkan dengan biomassa (Khan et al., 2014). Begitu pula dengan pemberian pupuk organik secara tunggal dapat meningkatkan kandungan K tersedia menjadi 3 kali lipatnya. Sedangkan pemberian biochar tongkol jagung, biochar sekam padi dan biochar jengkok-tembakau yang dikombinasikan dengan pupuk organik dapat meningkatkan kandungan K tersedia lebih tinggi masing-masing sebesar 2 kali lipat, 3 kali lipat dan 4 kali lipat. Pemberian biochar jengkok-tembakau yang dikombinasikan dengan kompos dan pupuk kandang meningkatkan kandungan K tersedia menjadi 1,01 me 100 g⁻¹ dan 0,94 me 100g⁻¹. Pada Inceptisol yang didominasi dengan kandungan liat menyebabkan adanya fiksasi yang tinggi sehingga menyebabkan konsentrasi K di larutan menjadi berkurang. Ada keterikatan yang erat antara pH dan kejenuhan

basa pada tanah, dimana jika pH dan kejenuhan basa rendah maka kalium akan semakin hilang tercuci. Pada pH netral dan kejenuhan basa tinggi kalium akan diikat oleh Ca. Hasil penelitian Ibrahim et al. (2016) menyebutkan bahwa biochar dapat meningkatkan tingkat karbon tanah dan pH tetapi bervariasi dengan jenis tanah. Selain itu jika kapasitas tukar kation tinggi maka kemampuan tanah untuk menahan K semakin besar sehingga menurunkan potensi pencucian. Hasil penelitian Elangovan and Chandra Sekara (2014) menunjukkan bahwa penambahan biochar ke tanah liat dapat meningkatkan N, P dan K tersedia di tanah pasca panen kapas.

Tabel 48. Nilai Kandungan K Tersedia dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah

Perlakuan	K NH ₄ OAC1N pH:7 (me 100g ⁻¹)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	0.46 ^{ns}	0.56 a	0.26a
Biochar tongkol jagung (CT)	0.60 ^{ns}	0.70abc	0.74bcd
Biochar sekam padi (CS)	0.48 ^{ns}	0.69 abc	0.74bcd
Biochar jengkok-tembakau (CJ)	0.50 ^{ns}	0.52 a	0.73bcd
Kompos (Ks)	0.37 ^{ns}	1.02 d	0.76cd
Pupuk kandang (Pk)	0.48 ^{ns}	0.85bcd	0.84de
Biochar tongkol+kompos (CKs)	0.57 ^{ns}	0.65 ab	0.57b
Biochar tongkol+pukan (CT+Pk)	0.54 ^{ns}	0.70abc	0.59bc
Biochar sekam+kompos (CS+Ks)	0.40 ^{ns}	0.72abc	0.94ef
Biochar sekam+pukan (CS+Pk)	0.41 ^{ns}	0.75abc	0.83de
Biochar jengkok+kompos (CJ+Ks)	0.48 ^{ns}	0.95cd	1.01f
Biochar jengkok+pukan (CJ+Pk)	0.52 ^{ns}	0.90bcd	0.94ef

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Kandungan Na

Berdasarkan Tabel 49, terdapat pengaruh pemberian biochar dan pupuk organik pada jenis tanah entisol lithic subgrup dan tanah inceptisol dalam meningkatkan kandungan K tersedia dalam tanah secara signifikan.

Tabel 49. Nilai signifikan Na dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	1
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0

Pada tanah entisol, kandungan Na tersedia berkisar antara 0,22 – 0,28 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Pada tanah entisol lithic subgrup

kandungan Na tersedia berkisar antara 0,35 – 1,18 me/100g yang memiliki status sangat rendah – rendah. Sedangkan pada tanah inceptisol kandungan Na tersedia berkisar antara 0,97 – 1,62 me/100g memiliki status sangat rendah – rendah.

Berdasarkan Tabel 50, pada tanah entisol nilai Na tidak mengalami pengaruh signifikan terhadap pemberian biochar dan pupuk organik. Pada tanah entisol lithic nilai Na berkisar antara 0,35 – 1,18 me/100g. Perlakuan kontrol memiliki nilai Na terendah sebesar 0,35 me/100g. Pemberian biochar tongkol jagung tidak meningkatkan nilai Na sedangkan pemberian biochar sekam padi dan jengkok tembakau meningkatkan kandungan Na menjadi tiga kali lipatnya. Pemberian pupuk kompos dan pupuk kandang juga meningkatkan Na menjadi masing-masing sebesar 0,92 me/100g dan 1,11 me/100g. Sedangkan pemberian biochar tongkol jagung, biochar sekam padi serta jengkok tembakau yang dikombinasikan dengan kompos dan pupuk kandang dapat meningkatkan Na menjadi 3-3,5 kali lipatnya.

Pada tanah inceptisol nilai Na berkisar antara 0,97-1,62 me/100g cukup tinggi dibandingkan jenis tanah entisol dan entisol lithic subgrup (Tabel 50). Pemberian biochar dan pupuk organik nyata meningkatkan nilai Na tanah inceptisol. Pemberian biochar tongkol jagung, biochar sekam padi dan biochar jengkok tembakau secara tunggal tidak meningkatkan nilai Na, begitu pula dengan penambahan pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang. Pemberian biochar tongkol jagung dan pupuk kandang menghasilkan Na tertinggi yaitu sebesar 1,62 me/100g dan tidak berbeda dengan pemberian jengkok tembakau dan pupuk kandang.

Tabel 50. Kandungan Na dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenah Tanah

Perlakuan	Na NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	0.24 ^{TN}	0.35a	0.97a
Biochar tongkol jagung (CT)	0.25 ^{TN}	0.35a	1.23abc
Biochar sekam padi (CS)	0.24 ^{TN}	0.99bc	1.17ab
Biochar jengkok tembakau (CJ)	0.24 ^{TN}	0.92b	1.21ab
Kompos (Ks)	0.22 ^{TN}	0.92b	1.18ab
Pukan (Pk)	0.23 ^{TN}	1.11d	1.45bc
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	0.26 ^{TN}	0.97b	1.17ab
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	0.27 ^{TN}	0.90b	1.62c
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	0.24 ^{TN}	1.09cd	1.26abc
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	0.25 ^{TN}	1.13d	1.22ab
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	0.26 ^{TN}	1.18d	1.25abc
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	0.28 ^{TN}	1.17d	1.46bc

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Kandungan Ca

Kation Ca merupakan kation yang berada kompleks jerapan tanah yang nilainya mempengaruhi KTK dan kejenuhan basa (KB). Nilai signifikan kandungan Ca dengan pemberian biochar dan pupuk organik pada tanah entisol, entisol lithic subgrup dan inceptisol dapat dilihat pada Tabel 51. Tabel 51 menunjukkan pemberian biochar dan pupuk organik berpengaruh terhadap kandungan Ca pada jenis tanah entisol lithic subgrup dan inceptisol pada nilai signifikan $< \alpha (=0.05)$ sedangkan pada tanah entisol tidak berpengaruh.

Tabel 51. Nilai signifikan Kandungan Ca dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.754
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0

Pada tanah entisol, kandungan Ca tersedia berkisar antara 6,79 – 11,29 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Pada tanah entisol lithic subgrup kandungan Ca tersedia berkisar antara 12,92 – 26,64 me/100g yang memiliki status sangat rendah – rendah. Sedangkan pada tanah inceptisol kandungan Ca tersedia berkisar antara 10,38 – 23,46 me/100g memiliki status sangat rendah – rendah.

Pada tanah entisol lithic subgrup, kandungan Ca pada tanah berkisar antara 12,92-26,64 me/100g (kandungan Ca berada pada kondisi sangat rendah – rendah). Perlakuan kontrol memiliki kandungan Ca yang paling rendah yaitu sebesar 12,92 me/100g (Tabel 14). Pemberian biochar tongkol jagung, biochar sekam padi dan biochar jengkok tembakau tidak meningkatkan kandungan Ca, begitu pula dengan pemberian kompos. Sedangkan dengan pemberian pupuk kandang secara tunggal dapat meningkatkan kandungan Ca menjadi 20,90 me/100g. Pemberian biochar tongkol jagung dan kompos atau pupuk kandang juga memberikan efek yang sama yaitu tidak meningkatkan kandungan Ca. Sedangkan pada biochar sekam padi dan pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan Ca hampir 2 kali lipatnya. Hal ini juga sama pada biochar jengkok tembakau dan pupuk kandang yang dapat meningkatkan kandungan Ca menjadi 2 kali lipat dibandingkan kontrol.

Pada tanah inceptisol, kandungan Ca berkisar antara 10,38 – 23,46 me/100g (kandungan Ca berada pada kondisi sangat rendah – rendah). Perlakuan kontrol memiliki kandungan Ca paling rendah yaitu sebesar 10,38 me/100g (Tabel 14). Pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik (kompos atau pupuk kandang) signifikan meningkatkan kandungan Ca yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan biochar tongkol jagung, biochar

sekam padi dan biochar jengkok tembakau secara tunggal dapat meningkatkan kandungan Ca hampir 2 kali lipat dibandingkan dengan kontrol. Pemberian biochar sekam padi yang dikombinasikan dengan pupuk kandang menghasilkan kandungan Ca yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain sebesar 23,46 me/100g dan tidak berbeda dengan pemberian biochar jengkok tembakau yang dikombinasikan dengan kompos.

Tabel 52. Kandungan Ca dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenah Tanah

Perlakuan	Ca NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	7.42 ^{TN}	12.92 a	10.38 a
Biochar tongkol jagung (CT)	8.97 ^{TN}	16.91 ab	19.16 c
Biochar sekam padi (CS)	8.83 ^{TN}	19.45 abc	18.20 c
Biochar jengkok tembakau (CJ)	8.30 ^{TN}	16.82 ab	18.51 c
Kompos (Ks)	6.79 ^{TN}	18.90 abc	17.73 c
Pukan (Pk)	8.35 ^{TN}	20.90 bcd	17.53 c
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	9.58 ^{TN}	15.83 ab	18.47 c
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	9.08 ^{TN}	15.61 ab	12.87 b
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	8.60 ^{TN}	20.00 abcd	18.03 c
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	9.18 ^{TN}	24.70 cd	23.46 d
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	11.29 ^{TN}	17.44 ab	22.70 d
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	8.14 ^{TN}	26.64 d	19.02 c

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Kandungan Mg

Sama seperti Ca, kation Mg juga merupakan kation yang berada dalam jerapan tanah dan akan mempengaruhi KTK dan kejenuhan basa. Nilai signifikan kandungan Mg dengan pemberian biochar dan pupuk organik pada tanah entisol, entisol lithic subgrup dan inceptisol dapat dilihat pada Tabel 52. Tabel 52 menunjukkan pemberian biochar dan pupuk organik berpengaruh terhadap kandungan Mg pada jenis tanah entisol dan inceptisol pada nilai signifikan $\alpha(=0.05)$ sedangkan pada tanah entisol lithic subgrup tidak berpengaruh.

Tabel 53. Nilai signifikan Kandungan Mg dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0.165
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0

Pada tanah entisol, kandungan Mg tersedia berkisar antara 0,25 – 2,65 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Pada tanah entisol lithic subgrup kandungan Mg tersedia berkisar antara 0,72 – 1,61 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Sedangkan pada tanah inceptisol kandungan Mg tersedia berkisar antara 0,64 – 3,67 me/100g memiliki status sangat rendah – rendah.

Kandungan Mg pada tanah entisol berkisar antara 0,25-1,86 me/100g (kandungan Mg tanah entisol sangat rendah), pada tanah entisol subgroup berkisar antara 0,41-1,72 me/100g (kandungan Mg tanah entisol lithic subgroup sangat rendah), sedangkan pada tanah entisol berkisar antara 0,64-3,67 me/100g (kandungan Mg tanah inceptisol sangat rendah – rendah) (Tabel 16). Pada tanah entisol, pemberian biochar baik tongkol jagung, sekam padi maupun jengkok tembakau meningkatkan kandungan Mg dalam tanah 3 sampai 4 kali lipat dibandingkan kontrol. Begitu pula dengan pemberian pupuk kandang dapat meningkatkan kandungan Mg hampir 3 kali lipat. Sedangkan pemberian kompos dapat meningkatkan kandungan Mg menjadi 6 kali lipat dibandingkan dengan kontrol. Pemberian biochar yang dikombinasikan dengan pupuk organik baik kompos dan pupuk kandang tidak berbeda dibandingkan dengan kontrol walaupun terjadi peningkatan dibandingkan dengan kontrol. Namun pada pemberian biochar sekam padi yang dikombinasikan dengan kompos dapat meningkatkan kandungan Mg sampai 2,65 me/100g (hampir 8 kali lipatnya).

Pada tanah inceptisol, perlakuan kontrol memiliki kandungan Mg yang paling rendah dan tidak berbeda dengan perlakuan biochar jengkok tembakau-pupuk kandang. Pada biochar tongkol jagung, aplikasi yang menghasilkan kandungan Mg lebih tinggi terdapat pada perlakuan kombinasi dengan pupuk kandang dibandingkan dengan perlakuan biochar tunggal maupun kombinasi dengan kompos. Pada biochar sekam padi, perlakuan dengan kombinasi kompos memiliki kandungan Mg lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan biochar saja atau kombinasi dengan pupuk kandang. Sedangkan pada biochar, antara perlakuan tunggal maupun kombinasi tidak berbeda secara signifikan (Tabel 53).

Tabel 54. Kandungan Mg dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah

Perlakuan	Mg NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	0.38ab	1.20 ^{TN}	0.96ab
Biochar tongkol jagung (CT)	1.24abc	1.40 ^{TN}	1.15abc
Biochar sekam padi (CS)	1.06ab	0.83 ^{TN}	1.79c
Biochar jengkok tembakau (CJ)	1.34abc	0.81 ^{TN}	1.60bc
Kompos (Ks)	1.86bc	1.72 ^{TN}	1.49bc
Pukan (Pk)	0.91ab	1.35 ^{TN}	2.57d
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	1.09ab	0.86 ^{TN}	0.98ab
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	0.25 a	0.72 ^{TN}	4.53f
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	2.65c	0.72 ^{TN}	3.67e
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	0.86ab	1.22 ^{TN}	1.71c
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	0.32ab	1.61 ^{TN}	1.25abc
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	1.02ab	0.41 ^{TN}	0.64a

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Keasaman Tanah

Nilai signifikan perlakuan biochar dan pupuk organik pada beberapa jenis tanah disajikan pada Tabel 54. Pada Tabel 54 menunjukkan bahwa hanya perlakuan biochar – pupuk organik dalam tanah inceptisol berpengaruh terhadap pH tanah pada nilai signifikan $< \alpha$ ($=0.05$) sedangkan perlakuan yang lainnya tidak berpengaruh.

Tabel 55. Nilai signifikan pH pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.058
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.02

Terdapat pengaruh antara jenis pembenah tanah terhadap pH tanah entisol lithic subgrup dan inceptisol (Tabel 55). Sedangkan perlakuan semua jenis pembenah tanah tidak berpengaruh terhadap pH tanah entisol.

Perlakuan berbagai jenis pembenah tanah memberi pengaruh yang berbeda pada pH tanah baik pada tanah entisol, entisol lithic subgrup dan inceptisol. Pada tanah entisol yang tidak memiliki pengaruh yang signifikan, nilai pHnya termasuk pada pH yang relatif netral karena berkisar antara 6,27 – 6,50. Peningkatan pH ini dapat terjadi apabila bahan organik yang ditambahkan pada tanah telah terdekomposisi lanjut (matang) karena bahan organik yang telah termineralisasi akan melepaskan mineral berupa kation-kation basa.

Tabel 56. Nilai pH Tanah Entisol, Ektisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenah Tanah

Perlakuan	pH 1:1 H ₂ O		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	6.40 ^{TN}	7.07a	7.10ab
Biochar tongkol jagung (CT)	6.50 ^{TN}	7.33b	7.17ab
Biochar sekam padi (CS)	6.47 ^{TN}	7.77e	7.17ab
Biochar jengkok tembakau (CJ)	6.37 ^{TN}	7.63d	7.03ab
Kompos (Ks)	6.27 ^{TN}	7.50c	7.13ab
Pukan (Pk)	6.27 ^{TN}	7.40bc	6.97a
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	6.47 ^{TN}	7.43bc	7.20ab
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	6.37 ^{TN}	7.43bc	7.27b
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	6.37 ^{TN}	7.40bc	7.10ab
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	6.43 ^{TN}	7.47bc	7.13ab
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	6.30 ^{TN}	7.43bc	7.13ab
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	6.37 ^{TN}	7.50c	7.00a

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Pada tanah entisol lithic subgrup, pH perlakuan kontrol cenderung lebih rendah dibandingkan perlakuan lainnya yaitu sebesar 7,07. Perlakuan biochar sekam padi memiliki pH yang paling tinggi yaitu sebesar 7,77 diikuti dengan biochar biochar jengkok tembakau, kompos, biochar jengkok tembakau-pukan dan perlakuan yang lainnya. Biochar sekam padi memiliki pH paling tinggi yaitu sebesar 7,77 namun setelah ada tambahan kompos maupun pukan dapat menurunkan pH menjadi masing-masing sebesar 7,40 dan 7,47. Sedangkan pada biochar jengkok tembakau nilai pH sebesar 7,63 dan setelah ada tambahan kompos maupun pupuk kandang maka nilai pH menurun menjadi masing-masing 7,43 dan 7,50. Hal ini berkebalikan dengan biochar tongkol jagung dengan pH 7,33 dengan adanya tambahan kompos maupun pupuk kandang menjadi meningkat pHnya menjadi masing-masing sebesar 7,43 dan 7,43. Menurut Solaiman dan Anwar (2015) tingkat alkalinitas dalam biochar merupakan salah satu faktor biochar berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Hasil-hasil penelitian pada tanah masam telah membuktikan bahwa pH tanah meningkat saat biochar ditambahkan ke tanah karena muatan negatif yang terbentuk di permukaan biochar. Peningkatan pH tanah dapat terjadi apabila bahan organik yang ditambahkan pada tanah telah terdekomposisi lanjut (matang), karena bahan organik yang termineralisasi akan melepaskan mineral berupa kation-kation basa. Muatan negatif ini berperan sebagai penyangga keasaman tanah dan menyebabkan lonjakan pH. Nilai pH tanah berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara di dalam tanah. Nilai pH yang netral merupakan pH yang diharapkan pada semua jenis tanah.

Pada tanah inceptisol, pH perlakuan kontrol hampir sama dengan perlakuan penambahan bahan pembenah yang lainnya. Perlakuan biochar jengkok tembakau-pukan memiliki nilai pH paling rendah yaitu sebesar 7 dan masih tergolong pH netral sedangkan perlakuan biochar tongkol jagung-pukan memiliki nilai pH yang paling tinggi yaitu sebesar 7,27. Kenaikan pH pada tanah inceptisol ini cenderung lebih rendah (sebesar 0,27) dibandingkan pada tanah entisol lithic subgrup (sebesar 0,70). Pemberian biochar pada tanah yang memiliki pH netral maka pH yang dihasilkan masih cenderung netral mendekati alkali seperti pada tanah inceptisol. Sedangkan pada tanah entisol yang memiliki pH netral maka pH yang dihasilkan adalah pH netral mendekati alkali. Hal ini sesuai dengan penelitian Jamilah dan Safridar (2012) menyatakan bahwa aplikasi biochar pada tanah mampu meningkatkan pH hingga 1 unit pH. Pemberian biochar berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas tanaman (Backwell *et al.* 2010; Jones *et al.* 2012; Haefele *et al.* 2011), khususnya pada tanah masam (Jeffery *et al.* 2011; Atkinson *et al.* 2010, Spokas *et al.* 2012), namun tidak berpengaruh nyata pada tanah dengan pH netral di Mid-West USA (Gaskin *et al.* 2010).

Kapasitas Tukar Kation (KTK)

KTK menunjukkan banyaknya kation-kation yang dapat dijerap oleh tanah per satuan berat (Hardjowigeno, 2003). Semakin banyak jerapan kation yang

dilakukan oleh tanah akan semakin baik untuk pertumbuhan tanaman. Pemberian biochar dan pupuk organik merubah status KTK menjadi signifikan pada jenis tanah entisol lithic subgrup dan tanah inceptisol sedangkan tidak signifikan pada tanah entisol (Tabel 56). Tanah inceptisol yang memiliki tekstur liat akan memiliki KTK lebih tinggi sehingga memiliki nilai kejenuhan basa yang tinggi sehingga reaksi di dalam tanahnya akan lebih baik. Sedangkan pada tanah entisol yang memiliki tekstur pasir maka KTK yang dimiliki lebih rendah sehingga pemberian biochar tidak berdampak banyak terhadap peningkatan KTK. Peningkatan KTK tanah dengan penambahan biochar akan meminimalkan resiko pencucian kation seperti K^+ dan NH_4^+ (Yamato et al., 2006; Novak et al., 2009a). Tabel 57. Nilai signifikan KTK dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.586
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0

Pada tanah entisol, kadar KTK berkisar antara 12,97 – 17,79 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Pada tanah entisol lithic subgrup kadar KTK berkisar antara 17,05 – 30,43 me/100g yang memiliki status sangat rendah. Sedangkan pada tanah inceptisol kadar KTK berkisar antara 15,07 – 29,25 me/100g memiliki status sangat rendah.

Berdasarkan Tabel 57, nilai KTK pada tanah entisol berkisar antara 12,97-17,79 me/100g, entisol lithic subgrup berkisar antara 17,05-30,43 me/100g, sedangkan pada tanah inceptisol nilai KTKnya berkisar antara 15,07-29,25 me/100g. Ketiga jenis tanah ini memiliki kandungan KTK sangat rendah karena $< 60,00$ me/100g. Pada tanah entisol, pemberian biochar atau pupuk organik secara tunggal tidak dapat meningkatkan KTK tanah. Pada tanah entisol lithic subgrup pemberian biochar atau pupuk organik baik secara tunggal maupun secara kombinasi dapat meningkatkan KTK tanah. Pemberian biochar tongkol jagung, biochar sekam padi maupun jengkok tembakau tidak dapat meningkatkan KTK, begitu pula dengan pemberian kompos secara tunggal. Namun pemberian pupuk kandang dapat meningkatkan KTK yang lebih baik dengan meningkatkan KTK menjadi sebesar 25,20 me/100g. Begitu juga pemberian biochar tongkol jagung, sekam padi maupun jengkok tembakau yang dikombinasikan dengan kompos tidak dapat meningkatkan KTK tanah (karena tidak berbeda dengan perlakuan kontrol). Sedangkan perlakuan biochar sekam padi dan biochar jengkok tembakau yang dikombinasikan dengan pupuk kandang dapat meningkatkan KTK lebih baik masing-masing sebesar 28,24 me/100g dan 30,43 me/100g. Menurut Atkinson *et al.* (2010) menekankan bahwa manfaat yang besar dari penambahan biochar adalah terhadap peningkatan kemampuan retensi air tanah pada tanah berpasir. Pada tanah inceptisol, perlakuan kontrol memiliki kandungan KTK paling rendah

yaitu sebesar 15,07 me/100g (Tabel 57). Pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik dapat meningkatkan kandungan KTK lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol. Pada pemberian biochar tongkol jagung kandungan KTK lebih baik ketika diaplikasikan secara tunggal daripada dikombinasikan dengan pupuk organik baik kompos maupun pupuk kandang. Pada biochar sekam padi, pemberian kombinasi dengan pupuk kandang (29,25 me/100g) menghasilkan kandungan KTK paling tinggi dibandingkan dengan pemberian biochar secara tunggal (25,05 me/100g) maupun kombinasi dengan kompos (26,31 me/100g). Pemberian pupuk kandang secara tunggal pada penelitian ini juga dapat meningkatkan KTK tanah dari 15,07 me/100g menjadi sebesar 24,76 me/100g. Hal ini juga sama seperti penelitian Wibowo et al., (2016) pemberian pupuk kandang sapi 10 ton ha⁻¹ pada 10 MSI meningkatkan KTK tanah dari 18,02 cmol kg⁻¹ menjadi 23,10 cmol kg⁻¹. Kapasitas tukar kation yang besar pada pupuk kandang juga berpengaruh tidak langsung terhadap tingkat pencucian nitrogen. Menurut Supriyadi (2007) ion K⁺ dapat berikatan dengan NO₃⁻ membentuk senyawa kalium nitrat sehingga dapat menurunkan tingkat pencucian nitrogen. Sedangkan pada biochar jengkok tembakau, aplikasi yang dikombinasikan dengan kompos memiliki KTK yang lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi biochar secara tunggal maupun yang dikombinasikan dengan pupuk kandang. Pada tanah inceptisol, perlakuan pupuk organik yang dikombinasikan dengan biochar memiliki KTK yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tunggal biochar saja maupun pupuk organik saja.

Tabel 58. Nilai KTK dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenah Tanah

Perlakuan	KTK NH ₄ OAC1N pH:7 (me/100g)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	13.05 ^{TN}	17.05a	15.07a
Biochar tongkol jagung (CT)	15.33 ^{TN}	20.79ab	24.68cd
Biochar sekam padi (CS)	14.90 ^{TN}	22.36abc	25.05cd
Biochar jengkok tembakau (CJ)	14.46 ^{TN}	19.34ab	24.87cd
Kompos (Ks)	12.97 ^{TN}	23.05abc	23.21bc
Pukan (Pk)	14.28 ^{TN}	25.20bcd	24.76cd
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	17.79 ^{TN}	19.25ab	23.11bc
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	15.13 ^{TN}	18.32ab	21.97b
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	16.27 ^{TN}	23.18abc	26.31d
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	15.46 ^{TN}	28.24cd	29.25e
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	15.38 ^{TN}	21.49abc	28.90e
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	14.44 ^{TN}	30.43d	24.42cd

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

Kejenuhan Basa (KB)

Nilai kejenuhan basa (KB) adalah persentase dari total kapasitas tukar kation (KTK) yang ditempati oleh kation-kation basa seperti kalium, kalsium,

magnesium dan natrium. Nilai KB berhubungan dengan pH dan tingkat kesuburan tanah. Kemasaman akan menurun dan kesuburan akan meningkat dengan meningkatnya kejenuhan basa. Perlakuan biochar dan pupuk organik memberikan pengaruh signifikan pada tanah entisol sedangkan tidak berpengaruh signifikan pada jenis tanah entisol lithic subgrup dan tanah inceptisol (Tabel 58).

Tabel 59. Nilai signifikan Kejenuhan Basa dalam Tanah pada Perlakuan Biochar dan Pupuk Organik Beberapa Jenis Tanah

Sumber Keragaman	Sig.
Jenis Tanah	0
Biochar-Pupuk Organik dalam Jenis Tanah	0.05
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol	0.01
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Entisol Lithic Subgrup	0.214
Biochar-Pupuk Organik dalam Tanah Inceptisol	0.507

Pada tanah entisol, kejenuhan basa berkisar antara 65 – 80% yang memiliki status tinggi – sangat tinggi. Pada tanah entisol lithic subgrup kejenuhan basa berkisar antara 88 – 99 % yang memiliki status sangat tinggi. Sedangkan pada tanah inceptisol kejenuhan basa berkisar antara 83 – 92 % memiliki status sangat tinggi.

Pada tanah entisol, nilai kejenuhan basa berkisar antara 65-80%, pada tanah entisol lithic subgrup nilai kejenuhan basa berkisar antara 88-99% sedangkan pada tanah inceptisol kejenuhan basa berkisar antara 83-93% (Tabel 59). Kejenuhan basa tanah berkisar 50-80% tergolong mempunyai kesuburan sedang dan dikatakan tidak subur jika kurang dari 50% (Tan, 1991). Kejenuhan basa sangat penting penggunaannya untuk pertimbangan pemupukan dan memprediksi kemudahan unsur hara tersedia bagi tanaman. Kejenuhan basa menunjukkan perbandingan antara jumlah kation-kation basa dengan jumlah semua kation yang terdapat dalam kompleks jerapan tanah. Pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik memberikan peningkatan kejenuhan basa pada tanah entisol, namun tidak berbeda dengan kontrol kecuali pada perlakuan biochar jengkok tembakau dan kompos yang menghasilkan nilai kejenuhan basa paling tinggi yaitu sebesar 80%. Sesuai dengan pendapat Lehmann and Joseph (2009), perlakuan biochar mampu meningkatkan kapasitas menahan air, KTK, maupun menyediakan unsur hara dalam memperbaiki serapan hara oleh tanaman.

Tabel 60. Nilai Kejenuhan Basa dalam Tanah Entisol, Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol pada Berbagai Jenis Pembenh Tanah

Perlakuan	KB (%)		
	Entisol	Entisol Lithic Subgrup	Inceptisol
Kontrol	65a	88 ^{TN}	83 ^{TN}
Biochar tongkol jagung (CT)	72ab	93 ^{TN}	90 ^{TN}
Biochar sekam padi (CS)	72ab	98 ^{TN}	87 ^{TN}
Biochar jengkok tembakau (CJ)	72ab	99 ^{TN}	89 ^{TN}
Kompos (Ks)	71ab	98 ^{TN}	91 ^{TN}
Pukan (Pk)	70ab	96 ^{TN}	91 ^{TN}
Biochar tongkol jagung-kompos (CKs)	65a	95 ^{TN}	92 ^{TN}
Biochar tongkol jagung-pukan (CT+Pk)	67a	98 ^{TN}	89 ^{TN}
Biochar sekam padi-kompos (CS+Ks)	74ab	97 ^{TN}	91 ^{TN}
Biochar sekam padi-pukan (CS+Pk)	69ab	98 ^{TN}	93 ^{TN}
Biochar jengkok tembakau-kompos (CJ+Ks)	80b	99 ^{TN}	91 ^{TN}
Biochar jengkok tembakau-pukan (CJ+Pk)	69ab	96 ^{TN}	90 ^{TN}

Keterangan: Nilai yang diikuti dengan huruf yang sama pada kolom yang sama berarti tidak berbeda nyata menurut uji DMRT pada taraf 5 %

5.1.4. SIFAT FISIK TANAH SETELAH DUA TAHUN MUSIM TANAM JAGUNG PADA TIGA JENIS TANAH

Potensi kesuburan tanah dapat ditentukan melalui sifat fisik tanah, terutama tekstur tanah karena dapat mempengaruhi kapasitas menahan air, pergerakan dan ketersediaan air dalam tanah. Gwenzi et al. (2015) mengatakan biochar berpotensi meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman melalui unsur hara ditingkatkan, ketersediaan air tanah, perbaikan tanah asam dan stimulasi keragaman dan aktivitas mikroba. Tiga jenis tanah pada penelitian ini dari Entisol (pasir berlempung), Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol (liat). Meskipun dua jenis tanah memiliki tekstur yang sama (liat) tetapi setiap jenis pembenh tanah memberi pengaruh yang berbeda terhadap peningkatan kadar pasir. Kadar pasir meningkat sebesar 68% dari 12,2% menjadi 20,5% (biochar tongkol) akan tetapi perlakuan lainnya menunjukkan pengaruh yang relatif sama dengan kenaikan rata-rata 15,4% (Entisol Lithic Subgrup). Berbeda dengan Inceptisol, terjadi peningkatan kadar pasir sebesar 83,7% dari 9,2% (kontrol) menjadi 16,9% (biochar tongkol, pupuk kandang dicampur biochar sekam ataupun biochar jengkok). Penggunaan secara bersama biochar sekam ataupun biochar jengkok dengan pupuk kandang memberi kontribusi lebih baik terhadap peningkatan kadar pasir daripada penggunaan secara tunggal, kecuali biochar tongkol jagung (Tabel 62). Sejalan pula dengan hasil penelitian Zhang et al. (2018), jerami padi dicampur dengan biochar menjadi kunci untuk memulihkan tanah terdegradasi, daripada aplikasi secara individual. Demikian pula penggabungan biochar dan kompos ke tanah untuk tujuan perbaikan juga menyediakan perbaikan kesuburan

tanah (termasuk penyediaan nutrisi, meningkatkan KTK, struktur tanah ditingkatkan dan retensi air, dan pengendalian pH). Selain itu, kompos lebih meningkatkan efektivitas biochar ketika diterapkan bersama-sama. Efek pemberian kompos telah terbukti untuk meningkatkan karakteristik tanah, termasuk struktur tanah dan retensi air, yang dapat menyebabkan hasil perbaikan (Ohsowski et al., 2012; Evanylo et al., 2008; Hargreaves et al., 2008; Aggelides dan Londra, 2000). Berbeda pada Entisol setelah diberi pupuk kandang, kadar pasir menurun 12,9% dari 80,6% (kontrol) menjadi 71,4%. Penggunaan ketiga jenis biochar maupun kompos yang diberikan secara tunggal ataupun dicampur menunjukkan penurunan kadar pasir yang relatif sama, rata-rata 5,2% dari 80,6% menjadi 76,4%.

Persen debu dari tanah yang diberi pembenah tanah berbagai jenis cenderung sama dengan perlakuan kontrol pada Entisol Lithic Subgrup (kecuali biochar jengkok+pupuk kandang) maupun Entisol (kecuali biochar tongkol jagung). Namun pada Inceptisol, peningkatan persen debu sangat menonjol pada biochar jengkok maupun biochar tongkol+kompos, selanjutnya diikuti perlakuan pupuk organik. Berbeda lagi pada Entisol, persen debu meningkat dari perlakuan biochar tongkol kemudian diikuti pupuk kandang. Sedangkan perlakuan lainnya relatif sama dengan kontrol.

Persen liat menurun 11,8% dari 75,4% (kontrol) menjadi rerata 66,5% (berbagai jenis bahan pembenah tanah) pada Entisol Lithic Subgrup. Penurunan persen liat juga terjadi pada Inceptisol sebesar 9,1% dari 65,9 % (kontrol) menjadi 59,9% (berbagai jenis bahan pembenah tanah). Tidak demikian yang terjadi pada Entisol, pemberian jenis pembenah tanah berpengaruh tidak nyata. Jenis tanah yang mengandung kadar liat yang tinggi (Tabel 63) akan mempunyai persentase pori mikro yang tinggi (Tabel 64). Entisol bertekstur pasir berlempung (Tabel 62), sehingga daya menahan airnya rendah dan kadar bahan organik rendah (Tabel 61). Berbeda dengan Inceptisol dan Entisol Lithic Subgrup yang bertekstur liat. Tekstur dan ruang pori tanah akan mempengaruhi tanah menahan air. Jenis bahan pembenah tanah mempengaruhi komposisi fraksi penyusun tanah (pasir, debu, liat) pada setiap jenis tanah sehingga berdampak pada perubahan sifat fisik. Pasir didominasi fraksi kasar dengan ruang antar partikel menyebabkan drainase cepat, memegang air dan unsur hara lebih sedikit, dan peka kekeringan. Debu menahan lebih banyak air tetapi drainase lambat. Dibanding liat yang mempunyai ruang pori sangat kecil dan saling terhubung, pergerakan air sangat lambat, tetapi berkemampuan tinggi dalam menyerap air meskipun tidak semua air tersedia bagi tanaman.

Pravin et al. (2013) menunjukkan kadar bahan organik tanah menentukan tinggi-rendahnya bobot isi tanah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan bahan organik tanah dapat menurunkan bobot isi tanah dan

meningkatkan bobot partikel tanah (Entisol Lithic Subgub dan Inceptisol), namun hal tersebut tidak terjadi pada Entisol. Aplikasi biochar menurunkan kepadatan isi tanah 1,4-1,1 Mg m⁻³ pada tanah yang sangat lapuk di Asia dengan kesuburan tanah yang rendah dan potensi erosi tanah tinggi (Jien and Sheng, 2013). Hasil penelitian ini sejalan dengan Ma et al. (2016), nilai-nilai bulk density tanah jauh lebih rendah pada kedua plot yang diperlakukan amandemen organik daripada plot tanpa diamandemen dan diberi pupuk NPK. Dibandingkan dengan NPK, NPK+biochar lebih efektif meningkatkan karbon organik tanah. Melo *et al.* (2013) melaporkan aplikasi *biochar* untuk memperbaiki berat isi tanah.

Porositas tanah meningkat dengan jenis bahan pembenah tanah. Peningkatan porositas tanah mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air dari biochar (Purakayastha *et al.*, 2013). Jenis bahan pembenah tanah memberi kontribusi yang sama terhadap kenaikan porositas tanah Entisol. Jenis biochar maupun jenis pupuk organik juga memberi kontribusi yang sama terhadap porositas tanah Inceptisol. Penggunaan berbagai jenis biochar maupun pupuk organik secara tunggal lebih baik daripada pemberian secara campuran pada Inceptisol. Namun tidak demikian halnya yang terjadi pada Entisol Lithic Subgub, penggunaan secara tunggal maupun campuran menunjukkan hasil yang sama. Porositas meningkat dari biochar sehingga meningkatkan retensi air dalam tanah, dan peningkatan tergantung pada bahan baku biochar, jenis tanah, dan tingkat campuran.

Konduktivitas Hidrolik Jenuh (KHJ) untuk menentukan air yang masuk ke dalam tanah. Libutti et al. (2016) mengatakan bahwa pengaruh biochar pada pembentukan macro agregat lebih mendalam di tanah lempung berpasir daripada di tanah lempung berdebu. Dibandingkan dengan kontrol, selain biochar secara signifikan meningkatkan pembentukan macro agregat dan sedikit meningkatkan konduktivitas hidrolik jenuh dari tanah. Disebabkan oleh perubahan struktur tanah, kadar air jenuh meningkat dan kadar air sisa menurun dengan amandemen biochar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan jenis pembenah tanah memberi kontribusi yang berbeda pada tanah liat, yakni meningkat (Entisol Lithic Subgub) dan sama (Inceptisol) dibanding kontrol. Jenis biochar maupun pupuk organik memberi kontribusi yang sama terhadap peningkatan KHJ (8,4 – 13,2 cm jam⁻¹) pada Entisol Lithic Subgub. Penggunaan biochar yang dicampur pupuk kandang (14,2 - 23 cm jam⁻¹) lebih tinggi daripada dicampur dengan kompos (9,5 – 18,8 cm jam⁻¹) pada Entisol Lithic Subgub. Setiap jenis pembenah tanah memberi pengaruh yang relatif sama terhadap penurunan KHJ (10,5 – 21,3 cm jam⁻¹) pada Entisol. Menurut Are et al. (2017), KHJ dari aplikasi biochar unggas (9,2 mm / hr) menunjukkan pengaruh yang nyata lebih rendah ($p < 0,05$) dibandingkan amandemen organik lainnya (16,5 - 18,2 mm / hr). Peningkatan

agregat stabil dari perlakuan veticompost adalah 3,4 - 26,7% lebih besar daripada perlakuan lainnya. Perbandingan indeks kualitas fisik tanah terdegradasi ditunjukkan dengan efek positif dari perubahan pada sifat fisik tanah dalam urutan: kontrol belum diamandemen < biochar unggas < teh unggas (non-kompos kotoran ayam) < non kompos-kotoran unggas < veticompost (kompos kotoran unggas & vetiver rumput plum). Kompos, pupuk dan biochar non-kompos menghasilkan pertumbuhan jagung yang lebih baik dan menghasilkan hasil yang signifikan lebih tinggi (1,48 - 1,73 t / ha) dibandingkan dengan perlakuan kontrol (0.87 t / ha). Hasil ini menunjukkan bahwa pupuk kompos dan non-kompos mungkin lebih berharga daripada biochar untuk meningkatkan kualitas fisik tanah terdegradasi

Persentase pori makro diperoleh dari selisih kadar air antara pF 0 dan pF 2,5 dan dikalikan dengan 100. Pori makro (drainase cepat) meningkat pada tanah liat dan menurun pada tanah pasir berlempung dengan pemberian jenis bahan pembenah tanah. Secara umum penerapan jenis pembenah tanah relatif sama terhadap kenaikan pori makro pada Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol, kecuali biochar jengkok maupun tongkol. Demikian pula pengaruh yang sama terhadap penurunan pori makro dengan aplikasi jenis bahan pembenah pada Entisol (Tabel 64). Hal ini akan berdampak pada peningkatan kemampuan tanah memegang air pada Entisol dan aerasi tanah pada Entisol Lithic Subgrup dan Inceptisol. Aerasi tanah mencerminkan keadaan oksigen dalam tanah yang bermanfaat untuk pernafasan akar tanaman. Aerasi tanah sangat tergantung pada air tanah, tekstur tanah, dan porositas tanah. Tekstur tanah dengan kadar liat lebih tinggi akan lebih rendah kenaikan porositas tanahnya. Kadar liat Entisol Lithic Subgub > Inceptisol > Entisol (Tabel 65). Porositas tanah liat meningkat 37,9% dari 43,8% (kontrol) menjadi 60,4% (biochar tongkol jagung dan sekam padi) pada Entisol Lithic Subgub sedangkan perlakuan lainnya meningkat relatif sama sebesar 26,3%. Demikian pula peningkatan porositas tanah Inceptisol sebesar 48,6%, dari 41,2% (kontrol) menjadi rata-rata 61,2% (ketiga jenis biochar dan kedua jenis pupuk organik) sedangkan perlakuan lainnya dengan kenaikan rata-rata 36,7%. Kenaikan porositas tanah Entisol sebesar 17,9%, dari 45,1% (kontrol) menjadi rerata 53,2% (berbagai jenis pembenah tanah). Purakayastha et al. (2013) melaporkan kapasitas air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%).

Persentase pori mikro dihasilkan dari kadar air pada pF 4,2 dikalikan dengan 100. Pori mikro (drainase lambat) sebagai penentu kemampuan tanah memegang air. Penelitian Hseu et al. (2014) menunjukkan bahwa aplikasi biochar mengurangi Bd sebesar 12% menjadi 25% dan PR dengan 57% sampai 92% setelah inkubasi, dibandingkan dengan kontrol. Selain itu, porositas dan ukuran agregat meningkat sebesar 16% menjadi 22% dan sebesar 0,59 untuk 0.94mm, masing-masing. Air yang tersedia meningkat secara signifikan di tanah yang

diperlakukan biochar, sebesar 18% sampai 89% karena peningkatan pori mikro. Konduktivitas air tanah hanya ditemukan 10% (perlakuan biochar), yang timbul dari peningkatan yang signifikan dari pori makro dan pengurangan kekuatan tanah.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa setiap jenis pembenah tanah bervariasi terhadap perubahan persentase pori mikro. Setiap jenis pembenah tanah menurunkan pori mikro (Entisol Lithic Subgrup), meningkatkan pori mikro (Inceptisol), dan relatif sama (Entisol). Meskipun tekstur sama tetapi memiliki dampak yang berbeda terhadap naik-turunnya pori mikro. Penerapan biochar sekam+pupuk kandang lebih menguntungkan daripada biochar sekam+kompos pada Entisol Lithic Subgrup. Lain halnya dengan Inceptisol, biochar tongkol lebih unggul untuk meningkatkan pori mikro. Berbeda pada Entisol, semua jenis pembenah tanah memberikan kontribusi yang sama seperti kontrol kecuali biochar tongkol.

Persentase pori meso diperoleh dari selisih kadar air volume antara pF 2,5 dan pF 4,2. Pada kondisi ini, air yang ditahan tanah pada kondisi kapasitas lapangan (pF 2,5) hingga titik layu permanen (pF 4,2) dinamakan dengan air tersedia (kondisi air yang dapat diserap langsung oleh tanaman). Menurut Karhu et al. (2011), Kapasitas menahan air akan memiliki efek yang sangat penting bagi lahan yang rawan kekeringan. Dibanding kontrol, pori meso meningkat dengan aplikasi jenis pembenah tanah pada Entisol Lithic Subgrup. Jenis pembenah tanah menghasilkan peningkatan kadar air tanah (Tabel 63). Peningkatan air tersedia akan menguntungkan bagi tanaman. Aplikasi berbagai jenis pembenah tanah meningkatkan air tersedia sebesar 164% dari 7,5% (kontrol) menjadi rata-rata 19,8% (pembenah tanah). Peningkatan kadar air tersedia terbesar dari pemberian biochar sekam+pupuk kandang pada Entisol Lithic Subgrup, sebesar 276%. Pemberian kompos akan meningkatkan air tersedia sebesar 45,7% dari 12,9% (kontrol) menjadi 18,8% pada Inceptisol. Sebaliknya pada Inceptisol dan Entisol, pori meso akan naik atau turun sangat dipengaruhi oleh pemberian jenis pembenah tanah. Pemberian biochar tongkol dan sekam meningkatkan kadar air tersedia terbanyak pada Entisol, rata-rata sebesar 199,2%. Menurut Ma et al. (2016), hasil regresi linear menunjukkan bahwa peningkatan retensi air dalam tanah dapat dikaitkan dengan peningkatan karbon organik tanah dan stabilitas agregat. Hubungan yang signifikan antara karbon organik tanah dan air yang tersedia, rata-rata diameter agregat dan air yang tersedia mengkonfirmasi hubungan antara perbaikan struktur tanah dan kemampuannya untuk memasok air. Retensi air tanah dijelaskan melalui nilai-nilai kondisi jenuh, kapasitas lapangan, titik layu permanen, dan air yang tersedia bagi tanaman di bawah perlakuan yang berbeda (Tabel 62). Hasil penelitian Carvalho et al. (2014) mengemukakan dampak biochar pada kapasitas retensi air tanah terkait dengan efek porositas dari

tanah lempung berpasir, yang jelas dari peningkatan kelembaban tanah jenuh dan porositas makro sebesar 0,5 dan 1,6% untuk setiap Mg ha^{-1} . Lebih lanjut dilaporkan bahwa penggunaan biochar sebagai amandemen tanah dapat menjadi strategi yang layak untuk menjamin stabilitas hasil di bawah kondisi air terbatas jangka pendek. Pada kondisi jenuh ($\text{pF } 0$), semua jenis pembenah tanah meningkatkan kemampuan tanah berada pada kondisi jenuh khususnya pada tanah liat. Kontribusi pembenah tanah relatif sama sebesar 15% pada Entisol Lithic Subgrub, namun berbeda pada Inceptisol. Hasil penelitian ini menunjukkan penggunaan biochar jengkok > biochar jengkok+pupuk kandang > biochar jengkok+sekam padi sedangkan perlakuan lainnya cenderung sama. Penerapan jenis pembenah tanah dapat menurunkan keadaan jenuh pada Entisol, sekalipun dengan tingkat penurunan yang relatif sama pada semua jenis pembenah tanah.

Retensi kelembaban tanah pada kapasitas lapangan ($\text{pF } 2,5$) dari kedua tanah liat menunjukkan hasil yang berbeda, yaitu pemberian jenis pembenah tanah tidak berpengaruh nyata (Entisol Lithic Subgrub) tetapi berpengaruh nyata (Inceptisol). Demikian pula pada Entisol juga tidak berpengaruh nyata. Pemberian jenis bahan pembenah tanah meningkatkan kapasitas menahan air (kapasitas lapangan) pada Inceptisol. Kapasitas lapangan merupakan suatu keadaan tanah yang cukup lembab yang menunjukkan jumlah air maksimum yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya gravitasi. Pada keadaan ini, sebagian besar pori-pori mikro tanah masih terisi air yang tersedia untuk tanaman. Penggunaan jenis biochar maupun pupuk organik secara tunggal maupun dicampur menunjukkan retensi kelembaban tanah yang sama, kecuali kompos yang dicampur biochar tongkol maupun biochar jengkok. Wang et al. (2016) menyampaikan bahwa kelembaban tanah meningkat dengan biochar tetapi pertumbuhan tanaman tidak meningkat.

Titik layu permanen ($\text{pF } 4,2$) merupakan kondisi kadar air tanah yang ketersediaannya sudah lebih rendah daripada kebutuhan tanaman untuk aktivitas sehingga tanaman menjadi layu secara permanen. Aplikasi jenis pembenah tanah menurunkan kadar air pada titik layu (Entisol Lithic Subgrub). Hampir semua jenis pembenah tanah memberi kontribusi yang sama (45,5%) terhadap penurunan titik layu, kecuali perlakuan biochar sekam yang dicampur kompos ataupun pupuk kandang. Penurunan titik layu permanen dari penerapan biochar sekam+pupuk kandang (57,6%) lebih besar daripada biochar sekam+kompos (33%). Berbeda pada Inceptisol, titik layu meningkat sebesar 32% dengan pemberian jenis pembenah tanah, kecuali kompos yang diberikan secara tunggal maupun yang dicampur dengan biochar jengkok. Pada Entisol, titik layu relatif sama dengan pemberian berbagai jenis pembenah tanah.

Tabel 61. Hasil analisis nested design bagan organik tanah, sifat fisik tanah, dan hasil jagung pipilan kering

Variabel Pengamatan	Bahan organik tanah	Bobot isi tanah	Bobot Jenis Tanah	Porositas Tanah	Konduktivitas Hidrolik Jenuh	pF 0	pF 2,5	pF 4,2	Pori Makro	Pori Meso	Pori Mikro	Pasir	Debu	Liat	Bobot Pipilan Kering
Sumber Keragaman	Sig.														
Jenis Tanah	0.000	0.000	0.555	0.000	0.000	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.063	0.000	0.000	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.000
Biochar-Pupuk Organik pada Jenis Tanah	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.000	0.000	0.000	0.00 0	0.00 0	0.00 1	0.000
Biochar-Pupuk Organik pada Entisol	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00 2	0.12 5	0.00 0	0.000	0.000	0.000	0.00 5	0.00 2	0.00 0	0.000
Biochar-Pupuk Organik pada Entisol Lithic Subgrub	0.000	0.000	0.000	0.000	0.551	0.00 0	0.00 0	0.00 0	0.000	0.000	0.000	0.00 1	0.00 6	0.02 3	0.000
Biochar-Pupuk Organik pada Inceptisol	0.000	0.076	0.064	0.001	0.000	0.00 0	0.06 7	0.04 2	0.000	0.006	0.042	0.00 1	0.00 2	0.70 9	0.024

Tabel 62. Hasil uji DMRT bahan organik tanah, bobot isi tanah, bobot jenis tanah, dan porositas pada jenis tanah

Perlakuan	Bahan Organik Tanah (%)			Bobot Isi Tanah (g cm ⁻³)			Bobot Jenis Tanah (g cm ⁻³)			Porositas (%)		
	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol
Kontrol	1.36 a	1.19 a	1.21 abc	1.2 c	1.3 e	1.3 ^{TN}	2.1 a	2.2 a	2.3 ^{TN}	43.8 a	41.2 a	45.1 a
CT	3.76 g	2.07 b	1.63 de	1.0 a	0.9 a	1.1 ^{TN}	2.5 cd	2.4 cd	2.5 ^{TN}	60.6 c	61.5 d	54.2 b
CS	2.52 cde	2.05 b	1.19 abc	1.0 a	0.9 a	1.2 ^{TN}	2.4 bcd	2.5 e	2.5 ^{TN}	60.2 c	60.8 d	52.6 b
CJ	2.71 de	2.36 b	1.72 e	1.0 a	0.9 a	1.1 ^{TN}	2.3 abc	2.3 bc	2.4 ^{TN}	54.2 b	61.4 d	52.1 b
Ks	2.54 cde	2.09 b	1.26 abcd	1.1 ab	0.9 a	1.1 ^{TN}	2.4 bcd	2.3 ab	2.5 ^{TN}	53.6 b	61.0 d	53.4 b
Pk	2.39 c	2.13 b	0.96 a	1.1 ab	0.9 a	1.1 ^{TN}	2.4 bcd	2.6 e	2.5 ^{TN}	57.0 bc	61.5 d	54.7 b
CT+Ks	3.03 f	1.98 b	1.54 cde	1.1 ab	1.1 cd	1.1 ^{TN}	2.4 bcd	2.5 de	2.4 ^{TN}	56.1 bc	54.0 b	52.9 b
CT+Pk	1.99 b	2.18 b	1.41 bcde	1.1 ab	1.2 d	1.1 ^{TN}	2.4 bcd	2.5 de	2.4 ^{TN}	55.9 bc	53.3 b	52.7 b
CS+Ks	2.36 c	2.01 b	1.06 ab	1.0 a	1.0 ab	1.1 ^{TN}	2.3 ab	2.4 bc	2.3 ^{TN}	56.3 bc	57.4 bcd	51.9 b
CS+Pk	2.76 e	2.08 b	1.27 abcd	1.0 a	1.0 ab	1.1 ^{TN}	2.3 ab	2.4 bc	2.4 ^{TN}	57.0 bc	60.0 cd	55.7 b
CJ+Ks	2.44 cd	2.26 b	1.20 abc	1.1 b	1.0 ab	1.1 ^{TN}	2.6 d	2.3 bc	2.4 ^{TN}	53.9 b	55.4 bc	51.8 b
CJ+Pk	3.09 f	2.40 b	1.36 bcde	1.1 b	1.0 ab	1.1 ^{TN}	2.4 bcd	2.4 bc	2.3 ^{TN}	54.0 b	57.7 bcd	53.3 b

Tabel 63. Hasil uji DMRT pasir, debu, liat, dan tekstur tanah pada jenis tanah

Perlakuan	Pasir (%)			Debu (%)			Liat (%)			Tekstur tanah		
	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol
Kontrol	12.2 a	9.2 a	80.6 d	12.4 a	24.9 abc	17.7 ab	75.4 b	65.9 e	1.7 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CT	20.5 c	18.0 d	72.3 ab	17.0 ab	22.7 ab	26.3 d	65.7 a	59.3 abcd	1.3 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CS	13.7 ab	12.0 bc	76.5 abcd	16.2 ab	27.6 cdef	20.2 ab	70.1 ab	60.3 bcd	3.3 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CJ	13.9 ab	11.6 abc	77.5 bcd	20.1 ab	30.0 f	17.3 ab	66.3 a	58.7 abc	5.2 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
Ks	15.3 abc	13.5 c	74.4 abc	20.0 ab	29.6 def	22.2 bcd	64.8 a	56.9 a	3.6 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
Pk	15.3 abc	12.7 bc	71.4 a	18.3 ab	29.7 ef	25.9 cd	66.2 a	57.7 ab	2.7 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CT+Ks	16.7 abc	10.6 ab	76.7 abcd	15.0 a	29.6 f	21.7 bcd	68.3 a	59.6 abcd	1.7 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CT+Pk	17.3 bc	13.5 bc	78.2 cd	19.7 ab	25.3 bc	20.2 ab	63.1 a	61.3 cd	1.6 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CS+Ks	15.7 abc	11.3 abc	77.4 bcd	18.3 ab	26.5 cde	18.0 ab	66.0 ab	62.2 d	4.7 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CS+Pk	16.7 abc	16.7 d	79.3 cd	13.7 a	21.7 a	16.0 a	69.7 a	61.7 cd	4.7 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CJ+Ks	15.5 abc	13.1 bc	76.8 bcd	17.0 ab	26.3 cd	20.0 ab	67.3 a	60.7 bcd	3.2 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung
CJ+Pk	13.7 ab	16.1 d	74.6 abc	24.1 b	23.0 ab	21.3 bc	64.2 a	60.7 bcd	4.0 ^{TN}	Liat	Liat	Pasir berlempung

Tabel 64. Hasil uji DMRT konduktivitas hidrolik jenuh dan kadar air pada jenis tanah

Perlakuan	Konduktivitas Hidrolik Jenuh (cm jam ⁻¹)			Kadar Air (pF) 0 (cm ³ cm ⁻³)			Kadar Air (pF) 2.5 (cm ³ cm ⁻³) (Kapasitas Lapangan)			Kadar Air (pF) 4.2 (cm ³ cm ⁻³) (Titik Layu)		
	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol
Kontrol	1.7 a	5.4 ^{TN}	32.2 d	0.52 a	0.44 a	0.57 c	0.41 ^{TN}	0.30 a	0.26 ^{TN}	0.33 f	0.17 a	0.13 ab
CT	9.7 b	11.8 ^{TN}	10.5 a	0.60 b	0.61 de	0.48 ab	0.42 ^{TN}	0.37 cde	0.29 ^{TN}	0.19 cd	0.32 f	0.09 a
CS	9.0 b	10.7 ^{TN}	11.3 ab	0.60 b	0.62 e	0.48 ab	0.39 ^{TN}	0.39 de	0.31 ^{TN}	0.19 cd	0.25 cde	0.13 ab
CJ	13.2 b	9.3 ^{TN}	14.5 abc	0.60 b	0.61 de	0.49 b	0.38 ^{TN}	0.39 de	0.30 ^{TN}	0.17 abc	0.28 def	0.13 ab
Ks	8.4 b	9.8 ^{TN}	13.8 abc	0.57 ab	0.60 de	0.49 b	0.36 ^{TN}	0.39 de	0.27 ^{TN}	0.20 de	0.23 bc	0.16 b
Pk	12.8 b	12.0 ^{TN}	21.3 c	0.58 ab	0.61 de	0.49 b	0.39 ^{TN}	0.39 de	0.32 ^{TN}	0.18 bcd	0.24 cd	0.13 ab
CT+Ks	9.8 b	9.5 ^{TN}	17.9 abc	0.62 b	0.53 c	0.50 b	0.42 ^{TN}	0.34 abc	0.31 ^{TN}	0.19 bcd	0.28 def	0.15 b
CT+Pk	19.8 d	11.4 ^{TN}	13.1 abc	0.58 ab	0.58 d	0.46 ab	0.39 ^{TN}	0.38 de	0.28 ^{TN}	0.16 ab	0.29 ef	0.14 b
CS+Ks	18.8 cd	9.2 ^{TN}	19.8 bc	0.60 b	0.59 d	0.45 ab	0.42 ^{TN}	0.39 de	0.29 ^{TN}	0.22 e	0.29 ef	0.15 b
CS+Pk	23.0 d	11.5 ^{TN}	14.9 abc	0.63 b	0.61 de	0.45 ab	0.42 ^{TN}	0.42 e	0.28 ^{TN}	0.14 a	0.27 cdef	0.15 b
CJ+Ks	9.5 b	10.1 ^{TN}	14.7 abc	0.61 b	0.51 b	0.41 a	0.42 ^{TN}	0.32 ab	0.24 ^{TN}	0.18 bcd	0.19 ab	0.12 ab
CJ+Pk	14.2 bc	10.9 ^{TN}	18.1 abc	0.61 b	0.55 c	0.44 ab	0.42 ^{TN}	0.35 bcd	0.27 ^{TN}	0.18 bcd	0.25 cde	0.12 ab

Tabel 65. Hasil uji DMRT pori-pori dan bobot hasil jagung pipilan kering pada jenis tanah

Perlakuan	Pori Makro (%)			Pori Meso (%) (air tersedia)			Pori Mikro (%)			Bobot Jagung Pipilan Kering (t ha ⁻¹)		
	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol	Entisol Lithic Subgub	Inceptisol	Entisol
Kontrol	11.1 a	13.7 a	30.8 c	7.5 a	12.9 bcd	12.9 abc	33.2 e	16.9 a	8,8 a	4.39 a	3.48 a	2.80 a
CT	17.8 b	23.7 d	19.0 ab	23.1 bcd	15.5 de	20.1 e	19.0 bc	31.8 f	13,3 b	5.07 ab	6.54 b	5.42 b
CS	21.0 cd	22.7 cd	16.8 a	20.7 bcd	14.7 cde	18.5 e	18.6 bc	24.7 cde	12.5 ab	5.90 bc	6.93 b	6.15 cde
CJ	21.5 d	21.3 bcd	18.7 ab	21.7 bcd	11.3 bcd	17.2 cde	16.6 ab	28.0 def	12.6 ab	5.40 abc	6.43 b	5.81 bc
Ks	21.0 cd	18.7 b	21.7 b	16.0 b	18.8 e	11.6 a	20.0 cd	22.8 bc	15.5 b	5.75 bc	6.76 b	6.09 cd
Pk	19.6 bcd	21.7 bcd	17.3 a	20.1 bc	15.3 de	18.3 de	18.4 bc	24.1 cd	13.4 b	6.59 c	6.65 b	6.62 def
CT+Ks	19.7 bcd	19.8 bc	19.2 ab	23.4 bcd	5.3 a	16.6 bcde	18.6 bc	28.2 def	14.8 b	5.83 bc	6.51 b	6.79 ef
CT+Pk	19.3 bcd	20.0 bc	18.4 ab	23.5 bcd	8.9 ab	13.4 abc	15.6 ab	29.5 ef	14.1 b	5.93 bc	6.96 b	6.90 f
CS+Ks	18.1 b	19.5 bc	15.9 a	20.1 bc	10.3 bcd	13.7 abc	22.3 d	29.0 def	15.1 b	6.07 bc	6.68 b	6.36 cdef
CS+Pk	20.8 cd	19.2 b	17.2 a	28.2 d	14.5 cde	12.2 ab	14.1 a	27.2 cdef	15.3 b	5.84 bc	7.68 b	6.48 cdef
CJ+Ks	18.9 bc	18.5 b	17.2 a	24.1 cd	13.0 bcd	11.8 a	18.3 bc	19.3 ab	12.3 ab	5.66 bc	6.70 b	6.31 cdef
CJ+Pk	18.7 bc	19.9 bc	17.8 a	24.0 cd	9.7 abc	14.2 abcd	18.3 bc	25.3 cde	12.5 ab	6.20 bc	6.35 b	6.50 def

5.2. LUARAN YANG DICAPAI

TAHUN	JURNAL	PROSIDING	PATEN	BUKU	HAK CIPTA	DOKUMEN HASIL PRODUK	DOKUMEN TASI HASIL UJI PRODUK
2017	Characterization of biochar combination with organic fertilizer: the effects on physical properties of some soil types; Bioscience Research (pISSN: 1811-9506 eISSN 2218-3973), 2017, 14 (4):955-965, 10 Des 2017, www.isisn.org Doi 10.1007/s00374-002-0466-4; URL https://www.isisn.org/BR-14-2017/955-965-14(4)2017BR-1544.pdf					Biochar tongkol jagung	
2018		The soil organic dynamics from types biochar-organic fertilizers and soil; International Conference on Organic Agriculture in the Tropics: State of the Art, Challenges and Opportunities 20–24 August 2017, Yogyakarta, Indonesia http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/215/1; Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP Conf. Series: Earth	Komposisi Biochar Tongkol Jagung Dan Metode Pembuatannya; No Pendaftaran P00201810883	Penggunaan Biochar di Lahan Kering; Penerbit UM-UNITR I; ISBN 978-602-470-121-5	Penggunaan Biochar di Lahan Kering; HKI 000156772		Biochar tongkol jagung, sekam padi, limbah industri tembakau (jengkok tembakau)

		and Environmental Science volume 215 (2018) 012008 doi :10.1088/1755 - 1315/215/1/01 2008					
		Dinamika Nitrogen Selama Inkubasi Biochar dan Pupuk Organik Pada Berbagai Jenis Tanah; pada seminar nasional di UGM (22-8- 2018). ISSN: 2442-7314- Hal 682 - 692; URL http://web.fap erta.ugm.ac.id/ event/seminar- nasional-hasil- penelitian- pertanian-viii/					
2019	Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation; submit di AIMS Agriculture and Food, Q3, United State, SJR 0,21) tgl 29-10-2019	Analisis pertumbuhan dan hasil tanaman jagung dari residu biochar - pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering; tanggal 21-9- 2019 di UGM					
	Biochar and Organic Fertilizer Utilization in Enhancing Corn Yield on Various Type of Dryland; Submit di ANRES (Agriculture and Natural Resources) pada tgl 10-10-2019 (Q3; SJR 0,24, Thailand)						

	The Corn Yield Evaluation of Biochars And Organic Fertilizers Application to Three Types of Soil (Hayati Journal of Biosciences, IPB, Q2, SJR 0,31) submit pada 28-10-2019						
	Status of soil organic matter and levels N, P, K after two years using biochar and organic fertilizer in three types of soil (handing and native proofreading pada tgl 31-10-2019), jurnal yang akan dituju adalah EurAsian Journal of Biosciences, SJR 0,12, Q4, Turkey						

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. KESIMPULAN

1. Pemberian biochar secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik meningkatkan status perubahan kimia tanah, seperti pH tanah, N total tanah, bahan organik, P tersedia, K tersedia, kandungan Na, kandungan Ca, kandungan Mg dan KTK. Pemberian jenis biochar (biochar tongkol jagung, sekam padi dan jengkok tembakau) serta pupuk organik (kompos dan pupuk kandang) memberikan respon perubahan yang tinggi, kecuali KTK
2. Kadar N total meningkat dari status rendah (kontrol) menjadi sedang (residu biochar yang dikombinasikan dengan pupuk organik) pada Entisol dan (biochar saja) pada Inceptisol. Namun tidak nyata berpengaruh pada Entisol lithic subgrup.
3. Kadar P tersedia meningkat dari status sedang menjadi sangat tinggi (residu biochar yang dikombinasi pupuk organik) pada Entisol, dari rendah menjadi tinggi (biochar dan pupuk kandang) pada Entisol lithic subgrup, dan dari sedang ke tinggi (biochar saja) pada Inceptisol.
4. Kadar K meningkat dari status sangat rendah menjadi rendah (residu biochar dan pupuk organik) pada ketiga jenis tanah.
5. Pada Entisol, pemberian biochar tongkol jagung+kompos, biochar padi+pupuk kandang, dan pemberian jengkok-tembakau memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan kandungan N total tanah, bahan organik tanah, P tersedia dibandingkan dengan kontrol.
6. Pada Entisol lithic subgrup, pemberian biochar jengkok-tembakau+pupuk organik (pupuk kandang maupun kompos) memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan P dan K tersedia dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya.
7. Pada Inceptisol, pemberian biochar sekam padi+kompos, biochar jengkok-tembakau+kompos dan biochar tongkol jagung saja dapat memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan bahan organik tanah, N total, P tersedia, K tersedia dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya.
8. Pada tanah entisol sub lithic, pemberian biochar meningkatkan pH tanah dari netral (perlakuan kontrol) menjadi sedikit basa ($pH > 7$) dengan pemberian sekam padi secara tunggal maupun pemberian biochar jengkok tembakau secara tunggal. Pada tanah inceptisol, pemberian biochar tidak memberikan dampak yang berarti terhadap peningkatan pH tanah karena sama dengan perlakuan kontrol.
9. Pemberian biochar dan pupuk organik pada tanah entisol, entisol lithic subgrup dan inceptisol hanya dapat meningkatkan kandungan Na, Ca, Mg tersedia sedikit, yaitu mengubah status tanah dari kondisi sangat rendah menjadi rendah.
10. Pada tanah entisol, entisol lithic subgrup dan inceptisol pemberian biochar dan pupuk organik tidak dapat meningkatkan KTK tanah yang berarti karena status tanah ketiganya masih berada pada kondisi sangat rendah.
11. Pada tanah entisol, entisol lithic sub grup dan inceptisol pemberian biochar dan pupuk organik memberikan pengaruh yang tinggi terhadap peningkatan kejenuhan basa dari status tinggi menjadi sangat tinggi.
12. Pada tanah entisol, pemberian biochar tongkol jagung – kompos, biochar padi – pupuk kandang, dan pemberian jengkok tembakau memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan KTK dan kejenuhan basa yang tinggi dibandingkan dengan kontrol.
13. Pada tanah entisol lithic subgrup, pemberian biochar jengkok tembakau – pupuk kandang dan biochar jengkok tembakau – kompos memberikan pengaruh yang paling baik dalam

meningkatkan kandungan Na, Ca, dan KTK yang tinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya.

14. Pada tanah inseptisol, pemberian sekam padi – kompos, jengkok tembakau – kompos dan biochar tongkol jagung saja dapat memberikan pengaruh yang paling baik dalam meningkatkan kandungan Na, Ca, Mg, KTK serta kejenuhan basa yang tinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya.
15. Pada Entisol, biochar tongkol jagung dicampur pupuk kandang menurunkan KHJ (59,3%) dan pori makro (67,4%), serta meningkatnya bahan organik tanah (16,5%), porositas (16,9)%, pori mikro (60,2%), serta hasil jagung (146,4%) dibanding kontrol.
16. Pada Inceptisol, biochar sekam padi dicampur pupuk kandang menurunkan bobot isi tanah (23,1%), fraksi liat (6,4%), kadar air pada titik layu permanen (41,2%), dan meningkatkan bahan organik tanah (135,3%), bobot jenis partikel (9,1%), porositas (45,6%), fraksi pasir (81,5%), pori makro (40,1%), pori mikro (60,9%), air tersedia (12,4%), kadar air pada kapasitas lapangan (30%), serta hasil jagung (120,7%) dibanding kontrol.
17. Pada Entisol Lithic Subgrup, pupuk kandang menurunkan bobot isi tanah (9%), fraksi liat (12,2%), pori mikro (44,6%), kadar air pada titik layu permanen (45,5%), dan meningkatkan bahan organik tanah (75,7%), bobot partikel tanah (14,3%), porositas (30,1%), fraksi pasir (25,4%), fraksi debu (47,6), KHJ (652%), air tersedia (168%), pori makro (76,6%), dan hasil jagung (50,1%) dibanding kontrol

6.2. SARAN

Penelitian kolaborasi dengan menggunakan petak percobaan di lahan milik petani mitra diperlukan dengan memperhatikan hasil-hasil terbaik dari penelitian ini.

TERIMA KASIH

Kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat nomor 113 / SP2H / LT / DRPM / 2019, Gudang Garam, Ltd, dan PT Bisi Internasional, Ltd.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S. 2004. Dinamika hara dalam tanah dan mekanisme serapan hara. Pusat Penelitian Tanah. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Agegehu, G., Bass, A., Nelson, P., Bird, M. 2016. Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Sci. Total Environ.* 543, 295–306.
- Aggelides, S.M., and Londra, P.A. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresources Technology.* 71(3): 253-259.
- Ahmed, F., Islam, S., Iqbal, T. 2017. Biochar amendment improves soil fertility and productivity of mulberry plant. *Eurasian J Soil Sci*, 6 (3) 226 – 237 DOI: 10.18393/ejss.291945
- Akande, M.O., Makinde. E.A., Oluwatoyinbo. F.I., and Adetunji. M.T. 2010. Effect Of Phosphate Rock Application on Dry Matter Yield and Phosphorus Recovery of Maize and Cowpea Grown in Sequence. *Afrikan Journal of Environmental Science and Technologi.* 4 (5) : 293-303.
- Akça, M.O., and Namli, A. 2015. Effects of poultry litter biochar on soil enzyme activities and tomato, pepper and lettuce plants growth. *Eurasian J Soil Sci*, 4 (3) 161 - 168. DOI: <http://dx.doi.org/10.18393/ejss.2015.3.161-168>
- Amador, J.A., Glucksman, A.M., Lyons, J.B., Gorres, J.H. 1997. Spatial distribution of soil phosphatase activity within riparian forest. *Soil Science* 162, 808-825.
- Ammu, P. and Anitha, S. 2015. Production and Characterisation of Biochar From Different Organic Materials. *Journal of Tropical Agriculture*, 53 (2), pp. 191-196.
- Amonette JE, Joseph S. 2009. Characteristics of biochar microchemical properties. In: Lehman J, Joseph S (eds). *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London.
- Are, K. S., Aina, O., A., Adelana, A.O., Fademi, I. O.O. 2017. Improving physical properties of degraded soil: Potential of poultry manure and biochar. *Agriculture and Natural Resources* 51 (2017) 454 – 462 <https://doi.org/10.1016/j.anres.2018.03.009>
- Arthur, E., Schjonning, P., Moldrup, P., Razzaghi, F., Tuller, M., De Jonge, L.W., 2014. Soil structure and microbial activity dynamics in 2-month field-incubated organic amended soils. *Eur. J. Soil Sci.* 65, 218–230. doi:<http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12121>.
- Asai H, Samson KB, Stephan MH, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y et al (2009) Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res* 111:81–84
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Hipps. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil.* 337: 1-18.
- Backwell, P., E. Krull, G. Butter, A. Herbert, and Z. Solaiman. 2010. Effect os banded biochar on dryland wheat production and fertilizer use in South-western Australia: an agronomic and economic perspective. *Australian Journal of Soil Research* 48:531-545
- Baronti, S., Vaccari, F.P., Miglietta, F., Calzolari, C. Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C., Genesio, L. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* L. *Europ. J. Agron.* 53:38-44.

- Bashir, S., Zhu, J., Fu, Q., Hu, H. 2018. Cadmium mobility, uptake and anti-oxidative response of water spinach (*Ipomoea aquatic*) under rice straw biochar, zeolite and rock phosphate as amendments. *Chemosphere* 194, 579-587.
- Biederman, L. A., Harpole, W. T. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. 5: 202- 214.
- Bonifas, K.D., Walters, D.T., Cassman, K.G., Lindquist, J.L. 2005. Nitrogen supply affects root: Shoot ratio in corn and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*. 53: 670-675.
- Brewer, C.E., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J.A. and Brown, R.C. 2009. Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environ. Prog. Sustainable Energy* 28:386–396. doi:10.1002/ep.10378
- Bruun, E.W., Petersen, C.T., Hansen, E., Holm, J.K., Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Biochar Amendment to Coarse Sandy Subsoil Improves Root Growth and Increases Water Retention. *Soil Use Manag.* 30, 109–118.
- Busscher, W.J., Novak, J.M., Ahmedna, M. 2011. Physical effects of organic matter amendment of a southeastern US coastal loamy sand. *Soil Science*, vol.176, no.12, pp.661-667.
- Chan, K.Y., van Zwieten, B.L., Meszaros, I., Downie, D., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 46, 437–444
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust. J. Soil Res.* 45:629-634. doi:10.1071/SR07109
- Cheng, C. H., J. Lehmann, J.E. Thies, S.D. Burton, and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon through biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37: 1477 - 1488.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Breedveld, G.D., David, W., Rutherford, Sparrevik, M., Alling, V., Hale, S.E., Obia, A., Mulder, J. 2013. Biochar Effect on Maize Yield and Soil Characteristics in Five Conservation Farming Sites in Zambia. *Agronomy*, 3, 256-274; doi:10.3390/agronomy3020256
- Cross, A.; Sohi, S. 2011. The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil Biol. Biochem*, 43, 2127–2134.
- Czekala, W., Jezowska, A., Chelkowski, D. 2019. The Use of Biochar for the Production of Organic Fertilizers. *Journal of Ecological Engineering*, 20 (1): 1–8 <https://doi.org/10.12911/22998993/93869>.
- Da Silva, I.C.B., Basílio, J.J.N., Fernandes, L.A., Colen, F., Sampaio, R.A., Frazão, L.A. 2016. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. *Scientia Agricola*. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0242>
- Darman. 2008. *Kedelai Sumber Pertumbuhan Produksi Dan Teknik Budidaya*. Gramedia. Bogor.
- David, M., Filiberto and John, L. Gaunt (2013). Practicality of biochar additions to enhance soil and crop productivity. *Agric.*, 3 4) : 715-(725; doi:10.3390 / agriculture 3040715.
- DeLuca, T. H., M. D. MacKenzie and M. J. Gundale. 2009. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformation. In Lehmann, J and S. Joseph, editor. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Sterling, Va Earthscan, pp. 251 – 265.
- Demisie, W., Liu, Z., Zhang, M., 2014. Effect of biochar on carbon fractions and Enzyme activity of red soil. *Catena* 121, 214–221.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 2-18.

- Dobermann, A. dan T. Fairhurst. 2000. Nutrient Disorders and Nutrient Management. Tham Sin Chee
- Downie, A., Munro, P., Grosky, A. 2009. Characterization of biochar-physical and structural properties. In: Lehmann & Joseph (eds). 2009. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan. p 13-29.
- Dugan, E., Verhoef, A., Robinson, S., Sohi, S. 2010. Bio-char from sawdust, maize stover and charcoal: Impact on water holding capacities (WHC) of three soils from Ghana. 19th World Congress of Soil Sciences, Symposium pp. 9-12.
- Dume, B., Mosissa, T., Nebiyu, A., 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology* 10 (3): 77-85.
- Elangovan, R. and Sekaran, N. Chandra (2014). Effect of biochar application on growth, yield and soil fertility status in cotton. *Asian J. Soil Sci.*, 9(1): 41-49.
- Elviwirda. 2007. Potensi Penggunaan Biochar untuk Mendukung Pertanian Organik. Universitas Samarinda.
- Evanylo, G., Sherony, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M., and Haering, K. 2008. Soil and water environmental effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems, & Environment*. 127(1): 50-58.
- Fryda, L and Visser, R. 2015. Biochar for Soil Improvement: Evaluation of Biochar from Gasification and Slow Pyrolysis. *Agriculture*, 5, 1076-1115; doi:10.3390/agriculture5041076.
- Fungo, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thion, M.G, Okeyo, I., Tenywa, M., Neufeldt, H. 2017. Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under Conventional hand-hoe tillage. *Soil & Tillage Research* 165: 190–197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.08.012>
- Gani, A. 2009. Potensi arang hayati biochar sebagai komponen teknologi perbaikan produktivitas lahan pertanian. *Iptek Tanaman Pangan* 4(1): 33- 48
- Gaskin, J.W., R.A Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee., L.A. Morris, and D.S. Fisher. 2010. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. *Agronomy Journal*, 102, 623-633.
- Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D., and Belay, T. 2015. Effect of Biochar on Yield and Yield Components of Wheat and Post-harvest Soil Properties in Tigray, Ethiopia., *J Fertil Pestic* 2015, 6:2-4. <http://dx.doi.org/10.4172/jbfbp.1000158>
- Gentile, R., Vanlauwe, B., Kavoo, A., Chivenge, P., Six, J., 2010. Residue quality and N fertilizer do not influence aggregate stabilization of C and N in two tropical soils with contrasting texture. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 88, 121-131.
- Glaser, B., Lehmann, J and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review biology and fertility of soils 35 : 219-230
- Gray, M., Johnson, M.G., Dragila, M.I., Kleber, M. 2014. Water uptake in biochars: the roles of porosity and hydrophobicity. *Biomass Bioenergy* 61, 196-205.
- Guo, S., J. K. Whalen., B. W. Thomas and V. Sachdeva. 2015. Physicochemical Properties and Microbial Responses in Biochar- amended soils: Mechanisms and Future Directions. *J. Agriculture, Ecosystems and Environment* (206) : 46–59
- Gusmini, Yulnafatmawita dan Anita Febriani Daulay, 2008. Pengaruh pemberian beberapa jenis bahan organik terhadap peningkatan kandungan hara N, P, K Ultisol, kebun percobaan Paferta Padang. *Jurnal Solum* Vol. V No. 2 Juli 2008 : 57-65. ISSN:1829-7994

- Gwenzi, W., Chaukura, N., Mukome, F.N.D., Machado, S., Nyamasoka, B. 2015. Journal of Environmental Management 150, 250-261. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.027>
- Haefele, S.M., Y. Konboon, W. Wongboon, S. Amarante, A.A. Maarifat, E.M. Pfeiffer, and C. Knoblauch. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in ricebased systems. Field Crop. Res. 123 (3): 430- 440.
- Hargreaves, J.C., Adl, M.S., and Warman, P.R. 2008. A Review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems, & Environment*. 123(1): 1-14.
- Harsanti dan A.N. Ardiwinata. 2011. Arang aktif meningkatkan kualitas lingkungan. Sinar Tani Edisi 6-12 April No 3400 Tahun XLI
- Haynes, R.J., Naidu, R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 51, 123-137.
- Hseu, Z.Y., Jien, S.H., Chien, W.H., Liou, R.C. 2014. Impacts of Biochar on Physical Properties and Erosion Potential of a Mudstone Slopeland Soil. *Scientific World Journal*, 2104, Article ID 602197, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/602197>.
- Hueso-González, P., Martinez-Murillo, J.F., and Ruiz-Sinoga, J.D. 2014. The impact of organic amendments on forest soil properties under Mediterranean climatic conditions. *Land Degradation & Development*.
- Ibrahim S. Abujabhah & Richard Doyle & Sally A. Bound & John P. Bowman. 2016. The effect of biochar loading rates on soil fertility, soil biomass, potential nitrification, and soil community metabolic profiles in three different soils. *Journal of Soils and Sediments*, 1-13. DOI 10.1007 / s11368-016-1411-8
- Igarashi, T. 2002. Hankbook for soil amendement of tropical soil, Association for international cooperation of agriculture and forestry, p 127-134
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B., Kaya, E.C. 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use Manag.* 31, 106e113.
- Islami, T. 2012. Pengaruh residu bahan organik pada tanaman jagung (*Zea mays* L.) sebagai tanaman sela pertanaman ubi kayu (*Manihot esculenta* L.). Vol 12. No.1 . Buana sains . Hal 131-136
- Jamilah dan Safridar, N. 2012. Pengaruh dosis urea, arang aktif dan zeolit terhadap pertumbuhan dan hasil padi sawah (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Agrista* 16 (3), 153-162.
- Jeffery, S., F.G.A Verheijen, M. van der Velde, and A.C. Bastos. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soil on crop productivity using meta-analysis, *Agriculture Ecosystems&Environment*, 144(1):175-187.
- Jien, S.H., Wang, C.S., 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *CATENA* 110, 225-233.
- Jimenez, J.J., Lorenz, K., Lal, R. 2011. Organic carbon and nitrogen in soil particle size aggregates under dry tropical forests from Guanacaste, Costa Rica implications for within site soil organic carbon stabilization. *CATENA* 86, 178-191.
- Jokela, W.E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 148-154.
- Jones, D. L., J. Rousk, G. Eswards-Jones, T.H. Deluca, D.V. Murphy. 2012. Biochar-mediated change in soil quality and plant growth in a year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*. 45, 113-124.
- Junita F, Muhartini S, Kastono D. 2002. Pengaruh frekuensi penyiraman dan takaran pupuk kandang terhadap pertumbuhan dan hasil pakchoi. *Jurnal Ilmu Pertanian*. 9(1): 37-45.
- K. T. Khan, M. T. A. Chowdhury and S. M. Imamul Huq, 2014. Application of biochar and

- fate of soil nutrients. *Bangladesh J. Sci. Res.* 27(1): 11-25
- K. Y. Chan, L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph, "Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment," *Australian Journal of Soil Research*, vol.45, no.8, pp.629–634, 2007.
- Kapkiyai, J.J., Karanja, N.K., Quresh, J.N., Smothson, P.C., Woomer, P.L. 1999. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nitisol under long-term fertilizer and organic input management. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1773-1782.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., Regina, K. 2011. Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity – Results from A Short-term Pilot Field study. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140:309–313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>.
- Körschens M. 2013. Humus und Klimaänderung. Internationalen Grünen Woche in Berlin am 25. Januar 2013, 1-13
- Kpombekou, A. K., Tabatabai, M. A. 1994. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. *Soil Science* 158:442-453
- Kussainova, M., Durmus, M., Erkocak, A., Kizilkaya, R., 2013. Soil dehydrogenase activity of natural macro aggregates in a toposequence of forest soil. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2: 69-75.
- Laird, D.; Fleming, P.; Davis, D.; Horton, R.; Wang, B.; Karlen, D. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 2010, 158, 443–449.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. Earthscan: 127-143. United Kingdom.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Jr., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343–357
- Lehmann, J., Joseph, S. 2015. Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: *Biochar for Environmental Management - Science and Technology*, 2nd edition. J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Routledge.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Marsiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota e A review. *Soil Biol. Biochem.* 43: 1812-1836.
- Li, J.T., Zhang, B. 2007. Paddy soil stability and mechanical properties as affected by long-term application of chemical fertilizer and animal manure in subtropical China. *Pedosphere* 17, 568-579.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J.E., Luizao, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G. 2006. Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils, *Soil Science Society of America Journal*, 70: 1719–1730.
- Libutti, A., Mucci, M., Francavilla, M., Monteleone, M. 2016. Effect of biochar amendment on nitrate retention in a silty clay loam soil. *Italian Journal of Agronomy*; 11:780, 273-276.
- Lingga, P. 2004. Hidroponik, Bercocok Tanam Tanpa Tanah. Penebar Swadaya. Jakarta. 99 hlm
- Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., Li, H., 2009. Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Appl. Soil Ecol.* 42, 166-175.

- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochars Effect on Crop Productivity and The Dependence on Experimental Conditions - A Meta - Analysis of Literature Data. *Plant Soil* 373: 583–594.
- Liu, X.H., Han, F.P., Zhang, X.C., 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments. *Int. J. Agric. Biol.* 14, 975-979.
- Ludwig, B., Schulz, E., Rethemeyer, J., Merbach, I., Flessa, H. 2007. Predictive modelling of C dynamics in the long-term fertilization experiment at bad Lauchstädt with the rothamsted carbon model. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 1155-1163.
- M. T. de Melo Carvalho, A. de Holanda Nunes Maia, B. E. Madari, L. Bastiaans, A. B. Heinemann, M. A. Soler da Silva, F. A. Petter, B. H. Marimon Jr., P. A. J. van Oort , and H. Meinke. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system *Solid Earth*, 5, 939–952, www.solid-earth.net/5/939/2014/doi:10.5194/se-5-939-2014
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., Yu, C., Yin, G., Doane, T.A., Wu, Z., Zhu, P., Ma, X. 2016. Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application. *PLOS ONE* | DOI:10.1371/journal.pone.0154091 May 18.
- Macdonald, L.; Farrell, M.; Van Zwieten, L.; Krull, E. Plant growth responses to biochar addition: An Australian soils perspective. *Biol. Fertil. Soils* 2013, 50, 1035–1045.
- Magdoff, F 2001. Concepts components, and strategies of soil health in agroecosystems. *J. Nematol.* 33. 169.
- Major, J, Lehmann, J, Rondon, M & Goodale, C. 2010a. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration, *Global Change Biology* 16(4): 1366–79.
- Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Borresen, T., Cornelissen, G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177: 681-695.
- Masek, O., Brownsort, P., Cross, A., Sohi, S.: Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar. *Fuel* 103, 151–155 (2013).
- Masulili, A., Utomo, W.H. and Syekhfani, Ms. 2010. Rice Husk Biochar for Rice Based Cropping System in Acid Soil 1. The Characteristics of Rice Husk Biochar and Its Influence on the Properties of Acid Sulfate Soils and Rice Growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science (Canada)* 3: 25-33
- Mawardiana. 2013. Pengaruh Residu Biochar dan Pemupukan NPK Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Padi Musim Tanam Ketiga. *Jurnal Konservasi Sumber Daya Lahan*.1(1):23-31.
- Medyńska-Juraszek, A. 2016. Biochar as a soil amendment. *Soil Sci Annu* 67:151-157.
- Mia, S., van Groenigena, J.W., van de Voorde, T.F.J., Orama, N. J., Bezemer, T.M., Mommer, L., Jeffery, S. 2014. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191: 83–91.
- Mukherjee, A., Lal, R., 2013. Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy* 3, 313-339.
- Mukherjee, A., Lal, R., 2014. The biochar dilemma. *Soil Res.* 52, 217-230.
- Mukherjee, A.; Lal, R. 2016. Biochar and Soil Quality. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Mulyani, A. dan Sarwani, M. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Suboptimal Untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 2: 47-56.
- Murata Y, Matsushima S. 1978. “Rice”. In Evans, L.T.(Ed). *Crop Physiology*. Cambridge: University Press. Cambridge; University Press. Cambridge. p. 73-99.

- Muyassir, Sufardi, Saputra, I. 2012. Perubahan sifat fisika Inceptisol akibat perbedaan jenis dan dosis pupuk organik. *Lentera* : Vol.12, No.1, Maret 2012.
- Naeem, M. A., M. Khalid, M. Arshad and A. Rashid. 2014. Yield and nutrient composition of biochar produced from different feedstocks at varying pyrolytic temperatures. *Pak. J. Agri. Sci.* 51(1): 75-82.
- Nguyen, T. T. N, C. Y. Xu, I. Tahmasbian, R. Che, Z. Xu, X. Zhou , H. M. Wallace, and S. H. Bai. 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. *Geoderma*, 288 : 79– 96.
- Novak, J. M., I. Lima., B. Xing., J. W. Gaskin., C. Steiner., K. C. Das., M. Ahmedna., D. Rehrh., D. W. Watts., W. J. Busscher and H. Schomberg. 2009. Characterization of Designer Biochar Produced at Different Temperatures and Their Effects on a Loamy Sand. *Annals of Environmental Science* 3:195-206.
- Nurhayati DR, Siswadi. (2019). Growth of sesame (*Sesamum indicum* L.) plants with mediated compost biochar on coastal sandy land area in Bantul Regency Indonesia. *Eurasia J Biosci* 13: 673-679.
- Nyambo, P., Chiduza C., Araya, T., Taeni, T. 2018. Effects of Maize Residue Biochar Amendments on Soil Properties and Soil Loss on Acidic Hutton Soil. *Agronomy*, 8, 256; doi:10.3390/agronomy8110256
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G., Børresen, T. 2016. In Situ Effects of Biochar on Aggregation, Water Retention and Porosity in Light-textured Tropical Soils. *Soil Tillage Res.* 155: 35–44.
- Odlare, M., Arthurson, V., Pell, M., Svensson, K., Nehrenheim, E., Abubaker, J. 2011. Land application of organic waste - Effects on the soil ecosystem. *Applied Energy*, 88(6), 2210-2218.
- Ohsowski, B.M., Klironomos, J.N., Dunfield, K.E., and Hart, M.M. 2012. Potential OF Soil Amendments for restoring Severly Disturbed Grasslands. *Applied Soil Ecology*. 60: 77-83.
- Ojeniyi, S.O., Amusan, O.A., Adekiya, A.O., 2013. Effect of poultry manure on soil physical properties, nutrient uptake and yield of cocoyam (*Xanthoso saggitifolium*) in Southwest Nigeria. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 13, 121-125.
- Pan G, Zhou P, Li Z, Smith P, Li L, Qiu D et al (2009) Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Agric Ecosyst Environ* 131:274–280
- Pandit, N.R., Mulder, J., Hale, S.E., Martinsen, V., Schmidt, H.P., Cornelissen, G. 2018. Science of the Total Environment 625 (2018) 1380–1389 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.022>
- Peng, X., Ye, L.L., Wang, C.H., Zhou, H., Sun, B. 2011. Temperature and Duration Dependent Rice Straw-derived Biochar: Characteristics and Its Effects on Soil Properties of An Ultisol in Southern China. *Soil Till. Res.* 112, 159-166.
- Prasetyo Y., Djatmiko H., Sulistyaningsih N. 2014. Pengaruh Kombinasi Bahan Baku dan Dosis Biochar Terhadap Perubahan Sifat Fisika Tanah Pasiran Pada Tanaman Jagung (*Zea mays* L.). Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember (UNEJ) Jln. Kalimantan 37, Kampus Tegal Boto, Jember 68121
- Pravin R. Chaudhari, Dodha V. Ahire, Vidya D. Ahire, Manab Chkravarty and Saroj Maity. 2013. Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 3, Issue 2, February 2013
- Puslitbangtan, 2009 Petunjuk Pelaksanaan Pendampingan SL-PTT Departemen Pertanian. Jakarta.

- Puslitbangtan, Badan Penelitian dan pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, 2012. Deskripsi Varietas Unggul Jagung. Tahun 2012. Maros
- Puspa Lorina MD, Sitawati S, Wicaksono KP. 2015. Studi sistem tumpangsari brokoli (*Brassica oleracea* L.) dan bawang prei (*Allium porrum* L.) pada berbagai jarak tanam. *Jurnal produksi tanaman*. 3(7): 565-573.
- Qin, H.Z.: Study on Properties of Biochar Made from Household Waste, Nanjing Agricultural University, Nanjing, JS (Ph.D Dissertation) (2012).
- Reeves, D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43, 131-167.
- Rehman, M.Z., Khalid, H., Akmal, F., Ali S., Rizwan M., Qayyum M.F. et al 2017. Effect of limestone, lignite and biochar applied alone and combined on cadmium uptake in wheat and rice under rotation in an effluent irrigated field. *Environ. Pollut.* 227, 560–568.
- Rehman, M.Z., Rizwan, M., Ali, S., Fatima, N., Yousaf, B., Naeem, A., Sabir, M., Ahmad, H.R., Ok, Y.S. 2016. Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (*Zea mays* L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133: 218-225
- Rogovska, N., Laird, D.A., Rathke, S.J., Karlen, D.L., 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma* 230–231, 340–347.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramirez, J. & Hurtado, M., 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Increases with biochar additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43, 699-708
- Rosmarkam A., Yuwono N.W. 2002. Ilmu kesuburan Tanah. Gajah Mada University. Press, Yogyakarta.
- S.S. Sandhu., Dan, U., Kumar, S., Chintala, R., Papiernik, S.K., Malo, D.D., Schumacher, T.E.: Analyzing the impacts of three types of biochar on soil carbon fractions and physiochemical properties in a corn-soybean rotation, *Chemosphere* 184, 473–481 (2017).
- Salawati, M. Basir, I. Kadekoh, A.R. Thaha. 2016. Potensi biochar sekam padi terhadap perubahan pH, KTK, C Organik, dan P Tersedia pada tanah sawah inceptisol. *J. Agroland*. 23(2):101-109.
- Sarwani, M., Nurida, N.L., Agus, F.: Greenhouse emissions and land use issues related to the use of bioenergy in Indonesia, *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 32, 56-66 (2013).
- Satriawan B. D and E. Handayanto. 2015. Effects of Biochar and Crop Residues Application on Chemical Properties of a Degraded Soil of South Malang, and P Uptake by Maize. *Journal of Degraded Andmining Lands*, 2 (2) : 271 – 281.
- Schnell, R.W., Vietor, D.M., Provin, T.L. Munster, C.L., and Capareda, S. 2012. Capacity of Biochar Application to Maintain Energy Crop Productivity: Soil Chemistry, Sorghum Growth, and Runoff Water Quality Effects. *Journal of Environmental Quality*, 41, X-X, doi:10.2134/jeq2011.0077
- Schnell, R.W., Vietor, D.M, Provin, T.L., Munster, CL., and Capareda, S. 2012. Capacity of biochar application to maintain energy crop productivity: Soil chemistry, sorghum growth, and runoff water quality effects. *J. Environmental Quality*.
- Scislowska, M., Włodarczyk, R., Kobylecki, R., Bis, Z. 2015. Biochar to improve the quality and productivity of soils. *Journal of Ecological Engineering*, 16(3): 31–35. DOI: 10.12911/22998993/2802.
- Simanungkalit, R.D.M. 2006. Prospek Pupuk Organik dan Pupuk Hayati di Indonesia. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Pengembangan dan Penelitian. Bogor.

- Sitompul S.M. dan Guritno B. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. UGM Press. Yogyakarta. 412 hal.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79, 7-31.
- Soepandi, D., 2013. Fisiologi Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika. IPB Press. Bogor
- Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E. and Bol, R. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09.
- Solaiman, Z. M and H. M. Anawar. 2015. Application of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solution. *Pedosphere*, 25(5): 631- 638
- Sonia., T, Siswanto, B., dan Handayanto, E. 2014. Pengaruh Aplikasi Bahan Organik Segar dan Biochar Terhadap Ketersediaan P Dalam Tanah di Lahan Kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, Vol. 1, No. 1: 85-92.
- Speratti, A.B., Johnson, M.S., Sousa, H.M., Torres, G.N., Couto, E.G. 2017. Impact of Different Agricultural Waste Biochars on Maize Biomass and Soil Water Content in a Brazilian. *Cerrado Arenosol Agronomy*, 7, 49 1-19. doi:10.3390/agronomy7030049
- Spokas, K.A., K.B. Cantell, J.M. Novak, D.W. Archer, Ippolito, J.A., Collin, H.P., Boateng, A.A., Lima, I.M., Lamb, M.C., A.J. Mc Aloon, R.D. Lentz, and K.A. Nichols. 2012. Biochar: A synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration. *J. Environ Qual* 41 (4):973-989.
- Srinivasarao, C.H., Gopinath, K.A., Venkatesh, G., Dubey, A.K., Wakudkar, H., Purakayastha, T.J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B.L., Rajkhowa, D.J., Sandip Mandal, Jeyar Aman, S., Venkateswarlu, B., and Sikka, A.K. 2013. Use of Biochar for Soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, Andhra Pradesh, 51p.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H. and Zech, W. 2007. Long effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on highly weathered central amazonian upland soil. *Plant and Soil* 291: 275-290.
- Subagyono, K., Abdurachman, A. and Nata Suharta, 2001. Effects of puddling various soil types by harrows on physical properties of new developed irrigated rice areas in Indonesia. Proceeding of the meeting of Indonesian Student Association, Tokyo, Japan.
- Subandi, F. Kaim, M. Basir, W. Wakman, Zubachtirodin, I. uddin Firmansyah, dan M. Akil, 2003. High light. Balai Penelitian Tanaman Serealia 2002. Balai Penelitian Tanaman Serealia, 24 p.
- Subandi, IG. Ismail, dan Harmanto, 1998. Jagung : Teknologi Produksi dan Pascapanen. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor, 57 P.
- Sukartono and Utomo, W.H. 2012. The Role of Biochar as A Soil Amendment in Maize Cultivation on Tropical Loam Soil (Sandy Loam) of Tropical Semiarid of Lombok. *Buana Sains* 12 (1) : 91-98 (in Indonesian).
- Sukartono, Utomo, W.H., Kusuma, Z. and Nugroho, W. H. 2011. Soil fertility status and maize (*Zea mays*) yield after biochar application on sandy soils of North Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49: 47-53
- Sukartono, Utomo, W.H., Kusuma, Z. And Nugroho, W. H. 2011. Soil fertility status and maize (*Zea mays*) yield after biochar application on sandy soils of North Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49: 47-53
- Supriyadi, S. 2007. Kesuburan tanah di lahan kering Madura. *Embryo* 4 (2), 124-131.
- Suryani, M. 2013. Perubahan Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Caisim (*Brassica juncea* L.) akibat Pemberian Biochar pada Topsoil dan Subsoil Ultisol. Skripsi. Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, 79 p.

- Sutoro N., Dewi dan Setyowati M. 2008. Hubungan sifat morfologis tanaman dengan hasil kedelai. *Penelitian tanaman pangan*: 27(3):185-190.
- Tagoe, S.O., Takatsugu Horiuchi, T., and Matsui, T. 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. *Plant Soil*, 306, 211–220
- Tan, K.H. 2001. *Dasar-dasar Kimia Tanah*. Penerbit Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Warnock *et al* (2007
- Tiessen, H., Cuevas, E., Chacon, D. 1994. The Role of Soil Organic Matter in Sustaining Soil Fertility. *Nature*, v.371, p.783-785.
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., Nishihara, E., 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *J. Food Agric. Environ.* 9, 1137-1143.
- Van Zwieten, L., Singh, B.P., Kimber, S.W.L., Murphy, D.V., Macdonald, L.M., Rust, J., Morris, S. 2014. An incubation study investigating the mechanisms that impact N₂O flux from soil following biochar application. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191, 53-62.
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., Diafas, I. 2010 Biochar application to soils: a critical scientific review on effects on soil properties, processes and functions, Joint Research Center (JRC), Scientific and Technical Report. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., van der Velde, M., Penzek, V., Beland, M., Bastos, A.C., Keizer, J.J., 2013. Reductions in soil surface albedo as a function of biochar application rate: Implications for global radiative forcing. *Environ. Res. Lett.* 8: 44008.
- Wang, Y., Zhang, L., Yang, H., Yan, G., Xu, Z., Chen, C., Zhang, D. 2016. Biochar Nutrient Availability Rather than Its Water Holding Capacity Governs The Growth of both C₃ and C₄ Plants. *J Soils Sediments* 16: 801–810.
- Wibowo, W.A., B. Hariyono, Z. Kusuma. 2016. Pengaruh biochar, abu ketel dan pupuk kandang terhadap pencucian nitrogen tanah berpasir Asembagus, Situbondo. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*. 3(1): 269-278.
- Widowati and Asnah. 2014. Biochar Effect on Potassium Fertilizer and Leaching Potassium Doses for Two Corn Planting Seasons. *Agrivita Journal Agriculture Sciences*, 36 (1): 65-71.
- Widowati, Asnah, Sutoyo. 2012. Pengaruh Penggunaan Biochar dan Pupuk Kalium Terhadap Pencucian dan Serapan Kalium Pada Tanaman Jagung. *Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungadewi. Buana Sains* 12(1) : 2
- Widowati, Sutoyo, Iskandar, T., and Karamina, H. 2017. Characterization of Biochar Combination With Organic Fertilizer: The Effects on Physical Properties of Some Soil Types. *Bioscience Research*, 14(4): 955-965.
- Widowati, Utomo, W.H., Soehono, L.A. and Guritno, B. 2011. Effect of biochar on the release and loss of nitrogen from urea fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology* 1: 127-132.
- Widowati. 2010. *Produksi dan Aplikasi Biochar / Arang dalam Mempengaruhi Tanah dan Tanaman*. Disertasi. Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Malang.
- Wojcieszak, D., Przybyl, J., Lewicki, A., Ludwiczak, A., Przybylak A., Boniecki P., Koszela K., Zaborowicz, M., Przybyl K., Witaszek K. 2015. Use of neural image analysis methods in the process of determine the dry matter content in the compost. *Proc. of SPIE* Vol. 9631 963118-1.
- Woolf, D.; Amonette, J.E.; Street-Perrott, F.A.; Lehmann, J.; Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nat. Commun*, 1, 56.
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S. & Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia manginum* on the yield of maize, cowpea and

- peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 489-495
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., and Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Journal Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 489-495.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. and Zimmerman, A.R. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89 : 1467-1471.
- Yeboah E., Ofori P., Quansah G. W., Dugan E., Sohi S. P. 2009. Improving soil productivity through biochar amendments to soils. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3(2): 034-041. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJEST.ISSN 1991-637X>
- Yuan, J.; Xu, R.; Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresour. Technol.* 102, 3488-3497.
- Zhang, Q.; Du, Z.; Lou, Y.; He, X. 2015. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macro aggregate fractions. *Catena*, 127, 26-31.
- Zhang, X., Wang, D., Jiang, C.C., Peng, S.A. 2013. Research progress of amelioration effects of biochars on acid soils. *Hubei Agric. Sci.* 52, 997-1000.
- Zhang, Y., Liu, Y., Zhang, G., Guo, X., Sun, Z., Li, T. 2018. The Effects of Rice Straw and Biochar Applications on the Microbial Community in a Soil with a History of Continuous Tomato Planting History. *Agronomy* 8 (65):1-13 doi:10.3390/agronomy8050065
- Zheng, J.Y., Stewart, C.E., Cotrufo, M.F. 2012. Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils. *J. Environ. Qual.* 41, 1361-1370.
- Zwieten VL, Kimber S, Morris S, Chan YK, Downie A, Rust J. 2010. Effect of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246.
- Zwieten, L. V., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., and Cowie, A. (2010). "Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility," *Plant Soil* 327(1), 235-246. DOI: 10.1007/s11104-009-0050-x.

LAMPIRAN

1. Surat paten diumumkan



KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIC INDONESIA
DIREKTORAT JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
Jl. H.R. Rasuna Said Kav 8-9, Kuningan, Jakarta Selatan, 12940
Telepon: (021) 57905611 Faksimili: (021) 57905611
Laman: <http://www.dgip.go.id> Surel: dopatent@dgip.go.id

Nomor : HKI.3-HI.05.01.02.P00201810883
Lampiran : 1 (satu) berkas
Hal : Pemberitahuan Persyaratan Formalitas Telah Dipenuhi

Jakarta, 28 Desember 2018

Yth. LPPM UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI
Jl. Telaga Warna Tlogomas Malang

Dengan ini diberitahukan bahwa Permohonan Paten:

Tanggal Pengajuan : 21 Desember 2018
(21) Nomor Permohonan : P00201810883
(71) Pemohon : LPPM UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI
(54) Judul Inovasi : KOMPOSISI BIOCHAR TONGKOL JAGUNG DAN METODE PEMBUATANNYA
(30) Data Prioritas :
(74) Konsultan HKI :
(22) Tanggal Penerimaan : 21 Desember 2018

telah melewati tahap pemeriksaan formalitas dan semua persyaratan formalitas telah dipenuhi. Untuk itu akan dilakukan:

1. Pengumuman, segera 7 (tujuh) hari setelah 18 (delapan belas) bulan sejak tanggal penerimaan atau tanggal prioritas dalam hal Paten Biasa (Pasal 46 UU No 13 Tahun 2016); atau segera 7 (tujuh) hari setelah 3 (tiga) bulan sejak tanggal penerimaan atau tanggal prioritas, dalam hal Paten Sederhana (Pasal 123 UU No 13 Tahun 2016).
2. Pemeriksaan Substantif segera setelah masa publikasi selesai dan pemohon telah mengajukan permohonan pemeriksaan substantif (Pasal 51 UU No 13 Tahun 2016).

Selain itu hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

1. Permohonan pemeriksaan substantif diajukan selambat-lambatnya 36 (tiga puluh enam) bulan sejak tanggal penerimaan untuk permohonan paten biasa dan selambat-lambatnya 6 (enam) bulan sejak tanggal penerimaan untuk permohonan paten sederhana, dengan disertai biaya sesuai yang tercantum pada PP No. 45 Tahun 2016.
2. Tidak diajukan permohonan pemeriksaan substantif dalam jangka waktu yang ditentukan tersebut akan mengakibatkan permohonan paten ini dianggap ditarik kembali.
3. Harap melakukan pembayaran kelebihan 0 buah klaim (@50.000) sebesar Rp. 0.
4. Pembayaran tambahan biaya akibat kelebihan jumlah klaim, dilakukan selambat-lambatnya pada saat pengajuan pemeriksaan substantif. Apabila tambahan biaya tidak dibayarkan dalam jangka waktu sebagaimana dimaksud maka kelebihan jumlah klaim dianggap ditarik kembali (Pasal 28 ayat 2 dan 3 PP 34 Tahun 1991).
5. Jumlah halaman deskripsi yang terbayar halaman (Bila halaman deskripsi lebih dari 30).



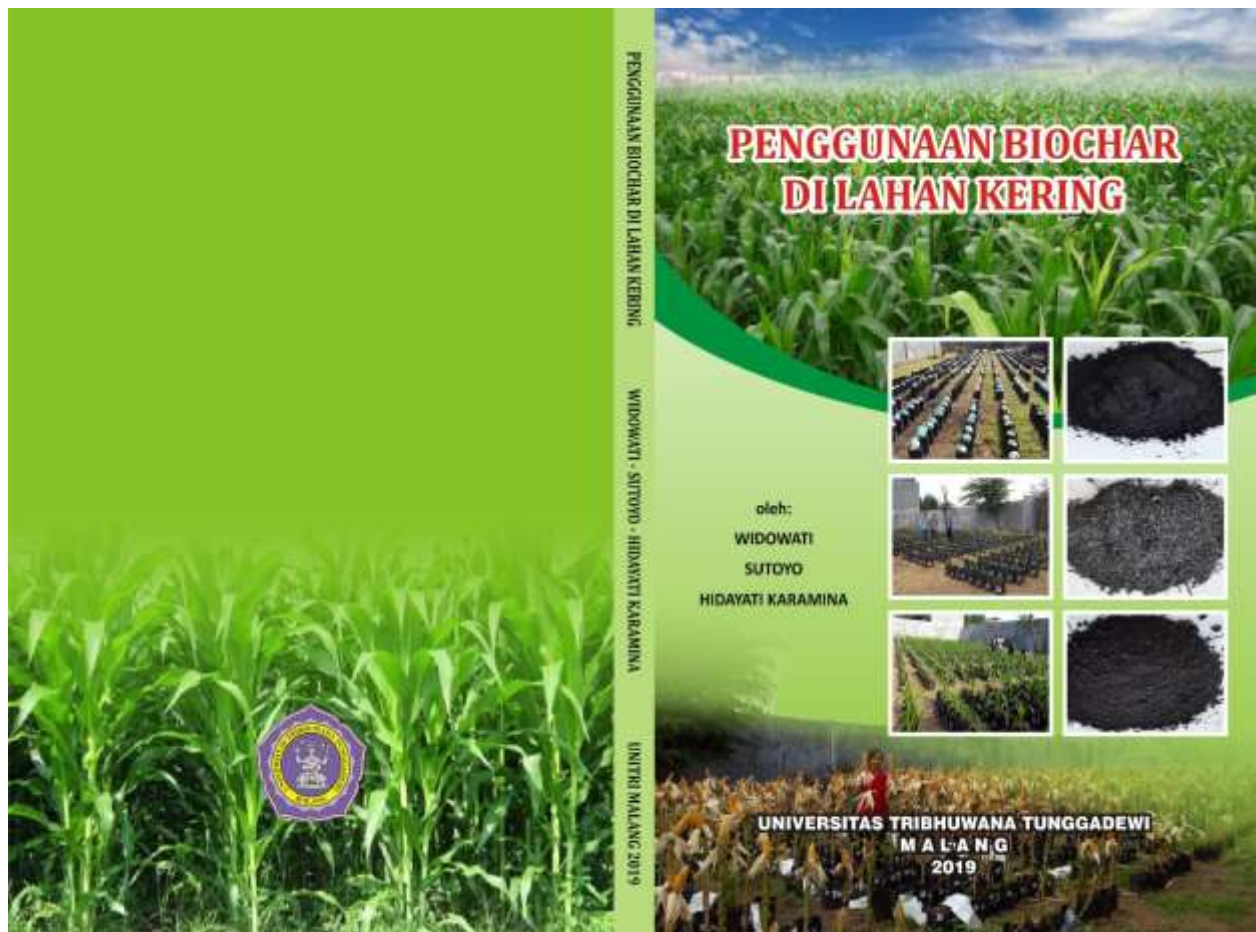
00-2018-369/44

a.n. Direktur Paten, Desain Tata Letak
Sirkuit Terpadu dan Rahasia Dagang
Kasubdit Permohonan dan Publikasi,

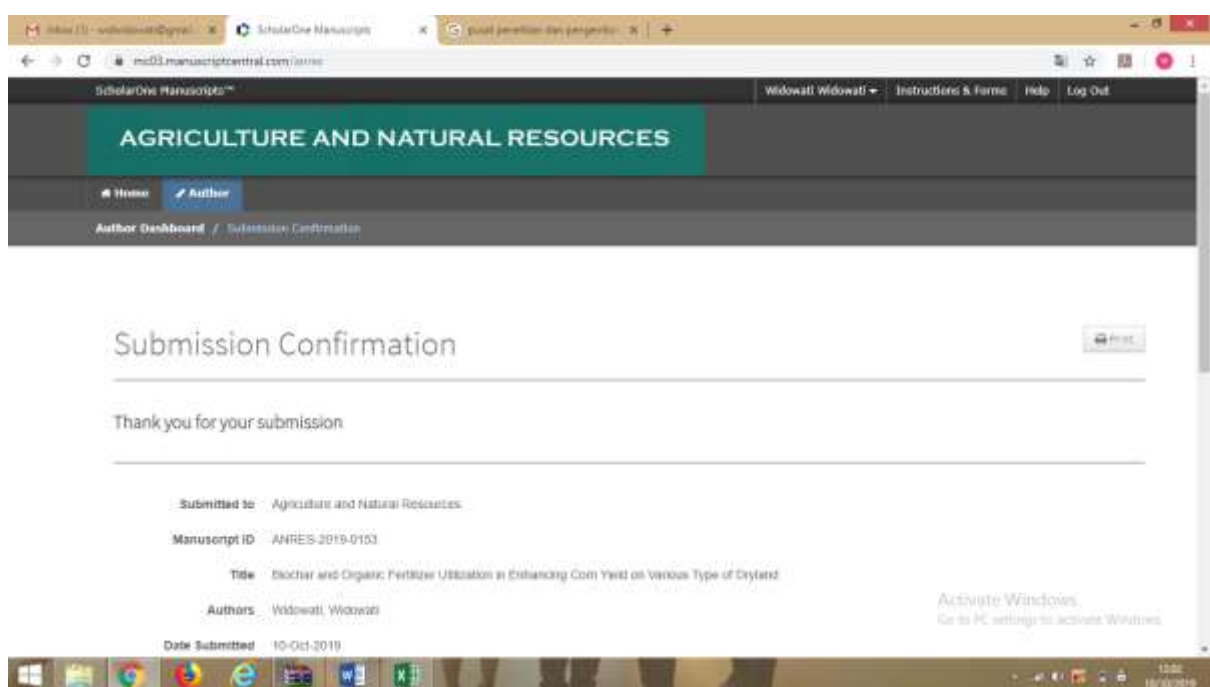
Dra. Sri Lastani, ST, M.IP.
NIP. 196512311991032002

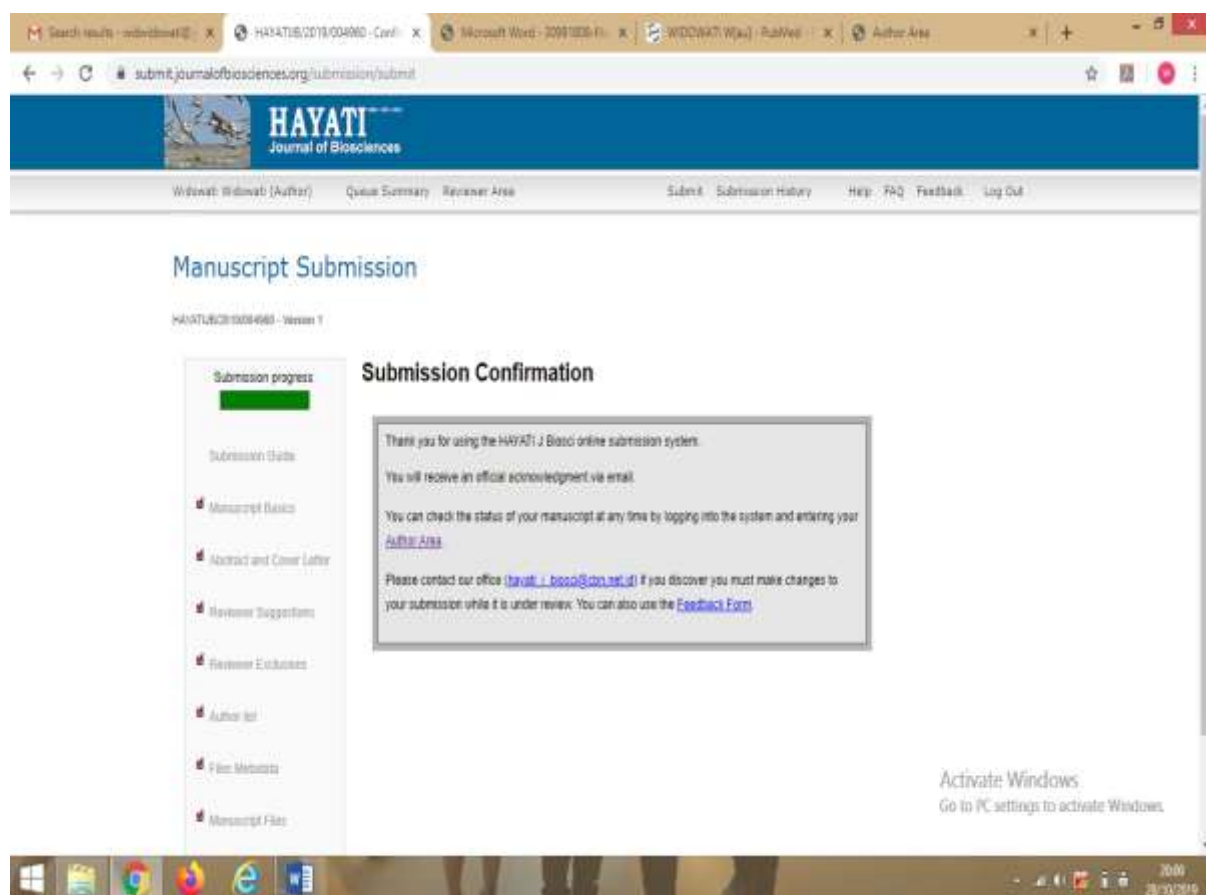
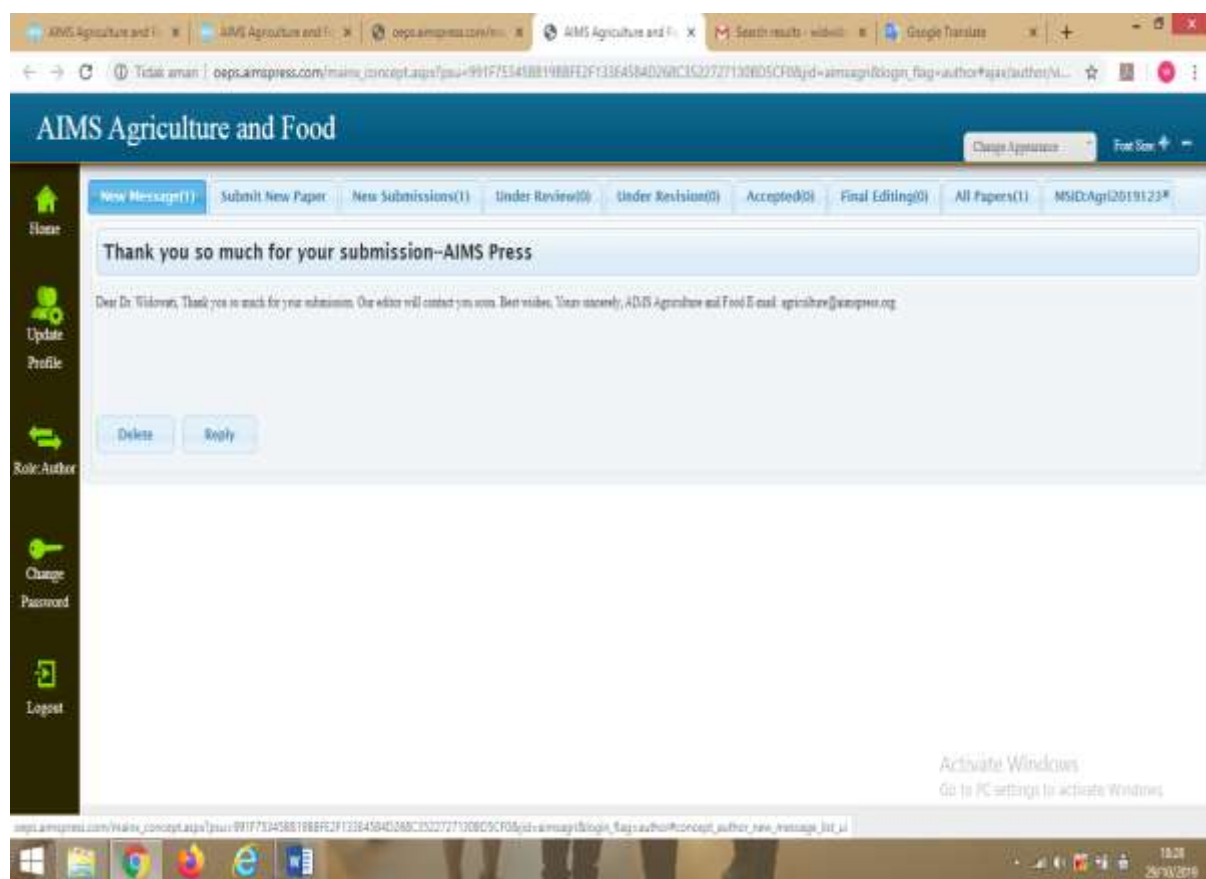
Tembusan:
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual.

2. Cover Buku



3. Bukti submit di tiga jurnal internasional (ANRES, AIMS, HAYATI)





4. Dokumentasi hasil produk




DOKUMEN HASIL PRODUK BIOCHAR TONGKOL JAGUNG

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADDEWI**

UNITRI.PF.19.10.0211.08

Revisi	: -
Tanggal	: 08 Oktober 2019
Disusun oleh	: Widowati, Taufuk Iskandar, Hidayati Karamina
Disetujui oleh	: Dekan FP UNITRI

FAKULTAS PERTANIAN - UNITRI		DOKUMEN HASIL PRODUK BIOCHAR TONGKOL JAGUNG FAKULTAS PERTANIAN UNITRI UNITRI.PF.19.10.0211.08	Disetujui oleh : Dekan Fakultas Pertanian  Dr. Hamzah, MP.
Revisi :	Tanggal :		
-			



5. Dokumentasi hasil uji produk




DOKUMENTASI HASIL UJI PRODUK BIOCHAR TONGKOL JAGUNG DI LAHAN KERING

**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI**

UNITRI.UPF.19.10.0211.08

Revisi	: -
Tanggal	: 08 Oktober 2019
Disusun oleh	: Widowati, Taufuk Iskandar, Hidayati Karamina
Disetujui oleh	: Dekan FP UNITRI

FAKULTAS PERTANIAN - UNITRI			Disetujui oleh : Dekan Fakultas Pertanian UNITRI
Revisi :	Tanggal :		
-			UNITRI.UPF.19.10.0211.08 Hamzan, MP.

6. Cover buku petunjuk penggunaan dan penggunaan biochar



7. Sertifikat kegiatan Seminar sebagai pemakalah dalam tiga tahun



